

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh nové technologie obrábění kalené součásti

Design of New Technology Cutting of Hardened Workpiece

Student:

Bc. Radek Sikora

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Mgr Jana Nováková

Ostrava 2010

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Radek Sikora

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh nové technologie obrábění kalené součásti
Design of a New Technology Cutting of Hardened Workpiece

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky obrábění kalených součástí
2. Rozbor stávající technologie výroby
3. Návrh nové technologie výroby
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

BILÍK, O. *Obrábění II, 1. díl*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava. 1999, II. vydání. ISBN 80-7078-962-X.
BILÍK, O. *Obrábění II, 2. díl*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava. 2001, II. vydání. ISBN 80-7078-944-1.
ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. s. 193. ISBN 80-968954-2-7.

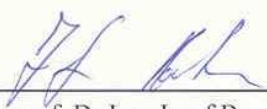
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr.Ing. Jana Nováková**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě: 25.5. 2010

.....
fka

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údajne o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 26. 6. 2010


Radek Sikora
Nebory 109
739 61 TRINEC

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SIKORA, R. Návrh nové technologie obrábění kalené součásti: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 71 s. Vedoucí práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Nováková

Diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie výroby kalené součásti. V úvodní části je posáno posuzování obrobitelnosti těžkoobrobitelných materiálů a jsou zde uvedeny trendy a doporučení pro obrábění kalených ocelí. V další části je proveden rozbor stávající technologie výroby. Následuje popsání změn v tepelném zpracování součásti, které byly základem pro návrh inovací stávající výroby. Na základě podkladů současné technologie výroby byly navrženy vhodné obráběcí stroje a nástroje a byl navržen nový technologický postup. V závěru práce je navrhovaná technologie výroby, na základě ekonomických ukazatelů firmy Strojírny Třinec a.s., porovnána se stávající technologií výroby.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SIKORA, R. Design of a New Technology Cutting of Hardened Workpiece: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2010, 71 p. Thesis head: Ing. et Ing. Mgr. Jana Nováková

This thesis deals with designing of the new technology of hardened component. In the first part is described the assessing of machinability difficult workable materials and are given the trends and recommendations for the machining of hardened steels. In the next section is an analysis of existing technology. Followed by a description of changes in heat treatment of components, which were the basis for the design innovation of existing production. Based on materials of current production technologies have been proposed the appropriate machine tools and instruments, and have been proposed the new technological process. In conclusion is the proposed technology compared to the existing production technology based on the economic indicators Company Strojírny Třinec a.s.

Obsah

Seznam použitého značení.....	7
Úvod.....	10
1. Problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů	11
1.1 Posuzování obrobitelnosti materiálů	12
1.1.1 Obrobitelnost podle rychlosti řezání	13
1.1.2 Obrobitelnost podle řezného odporu	14
1.1.3 Obrobitelnost podle drsnosti povrchu.....	15
1.1.4 Obrobitelnost podle utváření třísky	15
1.2 Vliv různých faktorů na obrobitelnost	16
1.2.1 Vliv mikrostruktury.....	17
1.2.2 Vliv chemického složení	18
1.2.3 Vliv způsobu výroby a tepelného zpracování.....	20
1.2.4 Vliv fyzikálních vlastností na obrobitelnost	21
1.3 Obrábění kalených ocelí.....	22
1.3.1 Výrobní technologie	23
1.3.2 Řezné materiály pro obrábění kalených ocelí.....	27
2. Rozbor stávající technologie výroby.....	30
2.1 Popis vyráběné součásti.....	32
2.2 Charakteristika materiálu součástí.....	32
2.2.1 Orobitelnost vysokolegovaných chromových ocelí.....	35
2.2.2 Technologické podmínky pro obrábění vysokolegovaných chromových ocelí.....	36
2.3 Výrobní stroje stávající technologie.....	37
2.4 Výrobní nástroje stávající technologie.....	39
2.5 Stávající technologický postup	44
3. Návrh nové technologie výroby	46
3.1 Volba strojů pro novou technologii výroby.....	47
3.2 Volba nástrojů pro novou technologii výroby.....	50
3.3 Popis nové technologie výroby.....	54
3.4 Návrh a výpočet řezných podmínek.....	55
4. Technicko - ekonomické zhodnocení.....	58
4.1 Náklady na výrobu u stávající technologie výroby.....	58
4.2 Náklady na výrobu u nové technologie výroby	60
4.3 Závěry vyplývající z technicko – ekonomického zhodnocení	65
5. Závěr.....	66
Literatura.....	69
Seznam příloh	71

Seznam použitého značení

a_p	[mm]	hloubka řezu
b	[mm]	šířka nožového držáku
CAD		Computer Aided Design – počítačová podpora designu
CVD		Chemical Vapour Deposition – chemické povlakování
D	[mm]	průměr sdruženého vrtáku
D_v	[ks]	roční výrobní dávka
d_v	[ks]	výrobní dávka
dg_7	[mm]	průměr nožového držáku
DXF		Drawing Exchange Format – počítačový CAD formát
F_x		osová složka řezné síly
F_y		radiální složka řezné síly
F_z		tangenciální složka řezné síly
HSC		vysokorychlostní obrábění
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f	[mm]	vzdálenost od osy nožového držáku k hraně břitové destičky
HSS		rychlořezná ocel
HRC		tvrdost podle Rockwella
h	[mm]	výška nožového držáku
$i (i)$	[-]	index obrobitelnosti, (počet řezů)
i_C	[mm]	vepsaná kružnice
K	[-]	součinitel přechování
KNB		kubický nitrid boru
k_v	[-]	součinitel obrobitelnost
$L (L)$	[mm]	celková dráha stroje, celková délka sdruženého vrtáku
l_0	[mm]	teoretická délka třísky
$l_1 (l_1)$	[mm]	skutečná délka třísky, celková délka nožového držáku
l_2	[mm]	délka stopky sdruženého vrtáku
l_3	[mm]	délka funkční části sdruženého vrtáku
l	[mm]	délka řezné hrany

n	[min ⁻¹]	otáčky
NC		Numerical Control – numericky řízený
N _{Cnt}	[Kč/ks]	celkové náklady na výrobu pro jeden kus u navrhované technologie
N _{Cst}	[Kč/ks]	celkové náklady na výrobu pro jeden kus u stávající technologie
N _{hs}	[Kč/hod]	hodinová sazba stroje
N _{iO}	[Kč/ks]	náklady na i – tou operaci
PVD		Physical Vapor Deposition – odpařovací povlakování
R _{et}	[MPa]	mez kluzu v tlaku
R _m	[MPa]	pevnost v ohybu
R _x		osová složka řezného odporu
R _y		radiální složka řezného odporu
R _z		tangenciální složka řezného odporu
R _{ze}		tangenciální složka řezného odporu etalonového materiálu
r _e	[mm]	poloměr špičky
S ₀	[mm ²]	teoretický průřez třísky
S ₁	[mm ²]	skutečný průřez třísky
s	[mm]	tloušťka břitové destičky
T	[min]	trvanlivost
t _{Ai}	[min]	strojní čas pro i – tý úsek operace
t _B	[min]	čas na přípravu dávky
t _{Cnt}	[hod/ks]	celková spotřeba času na výrobu pro jeden kus u navrhované technologie
t _{Cst}	[hod/ks]	celková spotřeba času na výrobu pro jeden kus u stávající technologie
t _{iC}	[hod/ks]	spotřeba času výroby jednoho kusu u i-té operace
t _p	[min]	přípravný čas
t _u	[min]	čas na výměnu kusu pro daný úsek
U _N	[Kč/ks]	úspora nákladu na výrobu pro jeden kus
U _{NR}	[Kč]	úspora nákladu na výrobu pro roční výrobní dávku

U_{tC}	[hod/ks]	uspora spotřeby času na výrobu pro jeden kus
v_c	[m.min ⁻¹]	rychlost řezání
v_T	[m.min ⁻¹]	rychlost řezání při zvolené trvanlivosti T
v_{Te}	[m.min ⁻¹]	rychlost řezání při trvanlivosti T pro etalonový materiál
VBD		vyměnitelná břitová destička
V_m	[m ³]	objem odebraného materiálu
V_t	[m ³]	objem volně uložených třísek
W	[-]	objemový koeficient
α	[K ⁻¹]	teplotní součinitel roztažnosti
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná vodivost
K_r	[°]	úhel nastavení břitové destičky
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota

Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou obrábění těžkoobrobitelných materiálů a návrhem nové technologie obrábění kalené součásti. Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů má rozhodující význam stupeň obrobitelnosti a s tím spojená volba vhodné strategie obrábění. Prioritou obrábění v současné době je zkracování výrobních časů se zvyšující se kvalitou výrobků. Na celkový výrobní čas mají největší vliv řezné podmínky, jejichž zvyšováním dosáhneme zkrácení tohoto času. K tomu je třeba přizpůsobit volbu obráběcích strojů a nástrojů tak, aby byly splněny hlavní požadavky obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout novou, vhodnější technologii obrábění kalené součásti. Na základě zhodnocení stávajícího technologického postupu výroby, navrhnout a zpracovat pro technologii obrábění nový návrh technologie výroby dané součásti. Tento návrh pak porovnat se současnou technologií výroby a provést technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby.

Tento cíl bude v diplomové práci splněn na základě realizace následujících úkolů:

- rozpracování problematiky obrobitelnosti a obrábění těžkoobrobitelných materiálů a kalených ocelí,
- rozbor současného stavu technologie výroby,
- v rámci nové technologie výroby navrhnout obráběcí stroje a nástroje a stanovit pro ně řezné podmínky,
- pro zefektivnění obrábění otvoru v součásti navrhnout konstrukci sdruženého vrtáku,
- pro navrhovanou technologii obrábění zpracovat nový technologický postup výroby,
- zpracování technicko-ekonomického zhodnocení.

1. Problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Sortiment těžkoobrobitelných materiálů představuje mnoho desítek značek ocelí, slitin a litin. Při hodnocení vlastností současných i nově vyvíjených materiálů z hlediska obrábění lze říct, že pro všechny tyto materiály lze stanovit základní společné technologické podmínky. Některé charakteristické vlastnosti obráběných materiálů – struktura materiálu a jeho fyzikálně chemické vlastnosti – dovolují volit optimální řezné materiály a nástroje. Rozdělení materiálů do tzv. skupin obrobitelnosti umožňuje použít již zpracované řezné podmínky pro těžkoobrobitelné materiály. Materiály s vysokými pevnostními parametry představují velmi široký sortiment, který obsahuje materiály, které jsou téměř neobrobitelné i materiály, které sice vyžadují zvláštní technologický postup a podmínky obrábění, např. určité úpravy nástrojů a jejich geometrie, chlazení apod., ale při správné technologii se obrábějí jen poněkud hůře než běžné konstrukční oceli

Volba hospodárných řezných podmínek při obrábění, tj. volba takové řezné rychlosti, hloubky řezu a posuvu nástroje, aby náklady na obrábění byly při vysoké produktivitě co nejmenší, je omezena řadou činitelů. Jsou to především:

- a) konstrukce a výkon stroje,
- b) vlastnosti nástroje, a to zejména kvalita nástrojového materiálu, tvar nástroje, geometrie bříty aj.,
- c) vlastnosti obrobku, tj. tvar obrobku, tuhost obrobku a tuhost jeho upnutí, požadovaná přesnost rozměrů obrobku a kvalita povrchu, polotovar obrobku a vlastnosti materiálu obrobku.

1.1 Posuzování obrobiteľnosti materiálů

Vlastnosti materiálů obrobků mají zvlášť významný vliv na volbu řezných podmínek. Proto byl pro ty vlastnosti kovů a ostatních obráběných materiálů, které určují vhodnost nebo způsobilost těchto materiálů k obrábění obráběcími nástroji a které ovlivňují náklady na obrábění, přijat pojem obrobiteľnost. Obrobiteľnost materiálů vyjadřuje souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení obráběného materiálu na průběh procesu řezání a na ekonomické, popř. i kvalitativní výsledky procesu řezání. V následující tabulce je uveden přehled některých těžkoobrobiteľných materiálů. [1]

1.1 Tabulka vybraných těžkoobrobiteľných materiálů [4]

Specifikace materiálu	Značka oceli DIN	Pevnost [N/mm ²]
Nitridační oceli oceli do 1000 N/mm ²		
	34 Cr Al 6	780
Nitridační oceli oceli nad 1000 N/mm ²		
	31 Cr Mo V 9	1000-1200
Kalené oceli s 48-67 HRC		
Konstrukční ocel odolná vůči otěru s 1350 N/mm ²		
	Hardox 400	1350
Konstrukční ocel odolná vůči otěru s 1800 N/mm ²		
	Hardox 500	1800
Pružinové oceli do 1500 N/mm ²		
	38 Si 7	1180-1370
Nerezové oceli-austenitické do 700 N/mm ²		
	X 6 Cr 13	400-700
Nerezové oceli-austenitické do 850 N/mm ²		
	X 12 CrS 13	650-850
Nerezové oceli-martensitické/feritické do 1100 N/mm ²		
	X 30 Cr 13	800-1000
Speciální slitiny do 1200 N/mm ²		
	Nimonic 105	1140
Titan a titanové slitiny do 850 N/mm ²		
	Ti 1	290-410
Titan a titanové slitiny s 850-1200 N/mm ²		
	Ti Al 6 V 4	900
Termoplasty a duroplasty		
	Pa 6	78

Obrobitelnost materiálů lze posuzovat obecně z mnoha hledisek. V praxi mají největší význam tato aspekty:

- Vliv vlastností materiálu obrobku na intenzitu (rychlost) opotřebení břitů rezných nástrojů a na teplotu při obrábění. Tento vliv určuje velikost rychlosti řezání a zahrnuje se do pojmu obrobitelnost podle rychlosti řezání.
- Vliv obráběného materiálu na proces tvoření třísky, a to z hlediska velikosti sil působících na nástroj při obrábění, označuje se jako obrobitelnost podle řezného odporu.
- Vliv materiálu obrobku na kvalitu opracované plochy a na vytváření nových povrchů, zahrnuje se do pojmu obrobitelnost podle drsnosti povrchu.
- Vliv vlastností obráběného materiálu na utváření oddělovaných třísek při obrábění, označuje se jako obrobitelnost podle utváření třísek. [1]

1.1.1 Obrobitelnost podle rychlosti řezání

V praxi se můžeme nejčastěji setkat s posouzením obecných vlastností materiálu z hlediska obrobitelnosti podle rychlosti řezání. Obrobitelnost podle rychlosti řezání určuje velikost hospodárné rychlosti řezání, a proto těsně souvisí s produktivitou obrábění a nejvíce ovlivňuje náklady na obrábění. Obrobitelnost podle rychlosti řezání se vyjadřuje přímo rychlostí řezání v_T , odpovídající určité zvolené trvanlivosti T , (obvyklé hodnoty trvanlivosti platné podle ČSN: 45, 35 nebo 15 minut), při určitých ostatních podmínkách obrábění. Častěji se však vyjadřuje pomocí tzv. součinitele obrobitelnosti, který je dán poměrem rychlosti řezání v_T pro daný materiál a v_{Te} pro základní (etalonový) materiál při jinak stejných ostatních podmínkách obrábění (způsob obrábění, nástroj, posuv, hloubka řezu aj.)

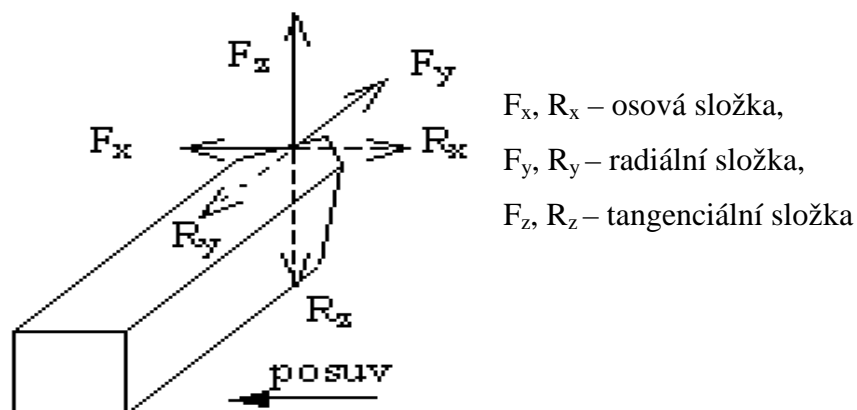
$$k_v = \frac{v_T}{v_{Te}} (= i) \quad (1.1) \quad [1], [2]$$

Index obrobiteľnosti závisí predovšetkým na spôsobe obrábění. Rozlišujeme indexy obrobiteľnosti podľa základných operací: soustružení, frézování, vrtání, broušení apod. Dalšími činiteli, na kterých index obrobiteľnosti závisí, jsou fyzikálně chemické vlastnosti břitu řezného nástroje (slnutý karbid, rychlořezná ocel) a na geometrii nástroje. V praxi se však rozdíly zanedbávají a předpokládá se, že index obrobiteľnosti je pro všechny nástrojové materiály stejný. Nejčastěji se stanoví pro optimální geometrii nástroje. [1], [3]

1.1.2 Obrobiteľnost podľa řezného odporu

S rostoucí pevností a tvrdostí obráběného materiálu roste jeho měrný řezný odpor vůči řeznému břitu nástroje. Roste tedy jeho obtížnost obrábění. Obráběný materiál se s rostoucími užitečnými vlastnostmi zpravidla stává obtížněji obrobitelným.

Obrobiteľnost podľa řezného odporu vyjadřuje mechanické namáhání stroje, nástroje a jeho břitu během obrábění a dává hodnoty pro výpočet potřebného výkonu pro obrábění. Vyjádřením obrobiteľnosti podľa řezného odporu je poměr tangenciální složky řezného odporu daného materiálu R_z k tangenciální složce řezného odporu základního materiálu R_{ze} při soustružení za určitých stejných podmínek. [5]



Obr. 1.1 Řezné síly a odpory při soustružení

1.1.3 Obrobitelnost podle drsnosti povrchu

Podle drsnosti povrchu obrobitelnost souvisí s kvalitou zhotovených součástí a má rozhodující vliv na volbu řezných podmínek při dokončovacích operacích.

V praxi se materiály z hlediska obrobitelnosti podle drsnosti povrchu netřídí a řezné podmínky pro dokončovací operace se téměř ve všech normativech stanoví tak, aby i u materiálu horší obrobitelnosti byl povrch v předepsaných mezích drsnosti. Předpokládá se, že čím je hodnota pevnosti oceli menší, tím se drsnost povrchu zvětšuje, a to platí i v opačném případě. Tato skutečnost se respektuje koeficientem, kterým se aby bylo dosaženo stejné drsnosti posuv u oceli nižší pevnost snižuje a naopak u oceli vyšší pevnosti se posuv zvětšuje. [6]

1.1.4 Obrobitelnost podle utváření třísky

Při práci na soustružnických a jiných automatech, poloautomatech a dalších výkonných strojích vzniká velké množství třísek. Nevhodně utvářené třísky zaujímají velký prostor, ztěžují odvoz třísek z pracoviště a závodů, ohrožují bezpečnost obsluhy stroje, mohou vést k předčasnému otupení nástroje a k poškození obráběné součásti.

Měřítkem obrobitelnosti podle utváření třísky je tzv. objemový koeficient, který udává poměr objemu volně uložených třísek V_t k objemu odebraného materiálu V_m .

$$W = \frac{V_t}{V_m} > 1 \quad (1.2) \quad [7]$$

Dalším měřítkem obrobitelnosti podle utváření třísky je tzv. součinitel přechování, který je dán poměrem průřezu odcházející třísky S_l k teoretickému průřezu třísky před jejím vznikem S_0 nebo je dán poměrem teoretické délky l_0 třísky ke skutečné délce třísky l_l . [6]

$$K = \frac{S_l}{S_0} = \frac{l_0}{l_l} \quad (1.3) \quad [7]$$

Protože vhodné utváření třísky dosahujeme změnou řezných podmínek, zejména změnou posuvu, volbou vhodné geometrie a tvaru nástroje, popř. různými utvářči třísek v praxi obrobitelnost podle utváření třísky nesledujeme. [6]

1.2 Vliv různých faktorů na obrobitelnost

Celkově na obrobitelnost, v procesu obrábění působí a ovlivňuje ji, mnoho faktorů. Nejdůležitějšími faktory ovlivňující obrobitelnost jsou:

- mikrostruktura,
- chemické složení,
- způsob výroby a tepelné zpracování,
- fyzikální vlastnosti materiálů.

Všechny uvedené faktory se navzájem ovlivňují a mohou být vzájemně vázány. Proto není možné jednotlivé činitele brát odděleně, ale dívat se na vliv různých faktorů na obrobitelnost z uceleného hlediska. Například chemické složení, způsob výroby a tepelné zpracování, ovlivňuje mikrostrukturu, pevnost a tvrdost. Důležitým jevem, který je třeba zohlednit při rozboru faktorů ovlivňujících obrobitelnost, je otupování nástroje, které vzniká při vzájemném působení nástroje a obrobku. Rozlišujeme tyto formy otupení:

- otupení funkčních ploch nástroje působením odcházející třísky a obráběného povrchu;
- vylamování částic povrchové vrstvy břitu při periodickém oddělování nárůstku na břitu;
- vylamování částí břitu, vlivem namáhání břitu na pevnost za zvýšené teploty;

- porušení základní struktury nástrojového materiálu, vlivem koncentrace tepla, vyvinutého při tvoření třísky.

Při procesu obrábění mohou nastat všechny výše uvedené typy otupení. To, která forma otupení nastane, se odvíjí od řezných podmínek. Forma otupení řezného nástroje pak určuje trvanlivost břitu. V praxi, za správně volených řezných podmínek, převažuje první nebo druhý případ otupování. Ostatní typy otupení svědčí o nesprávně volených řezných podmínkách. Tyto formy otupení řezného nástroje by se v praxi neměly vůbec vyskytovat. [6]

1.2.1 Vliv mikrostruktury

Oceli se skládají ze základních strukturních složek jako jsou ferit a perlit, ale i z jiných strukturních součástí jako je cementit, martenzit, bainit a ustenit. Každá z těchto strukturních složek má jiné vlastnosti a tudíž působí jiným vlivem na obrobitelnost materiálu. V následující stati je uveden stručný popis jednotlivých strukturních složek ocelí a jejich vliv na obrobitelnost.

Nelegovaný ferit je velmi měkký, tvárný a houževnatý. Snadno se deformuje, nepatrně odírá činné plochy nástroje, způsobuje molekulární adhezi. Za současného působení tlaku a teploty se molekuly feritu nalepují na funkční plochy nástroje a tím se zvyšuje součinitel tření a teplota řezání. Při periodickém oddělování tohoto nárůstku se v určité míře odnášejí i povrchové částice řezného materiálu. Tyto jevy mají vliv na drsnost povrchu obrobku a na utváření třísky. Legovaný ferit je tvrdší, ale vykazuje menší houževnatost a je méně tvárný. Nepůsobí adhezí, ale abrazivně.

Perlit je eutektoidní směs feritu a cementitu. Na obrobitelnost působí jednak molekulární adhezí feritu, jednak abrazivním účinkem cementitu.

Cementit patří mezi velmi křehké a tvrdé strukturní složky. V perlitu se vyskytuje jako lamelární, kde působí na nástroj silně abrazivně. V nízkouhlíkových ocelích, omezuje vznik nárůstku a působí tak příznivě na obrobitelnost. Perlit globulární, který

vzniká u žíhání na měkko, působí méně abrazivně, podporuje však vznik nárůstku, zvyšuje síly tření a tím teplotu řezání.

Martenzit a bainit mají vysokou tvrdost a vyznačují se vysokým abrazivním účinkem. Obě tyto strukturní složky vznikají z austenitu při ochlazování nadkritickou rychlostí. Čistě bainitická nebo martenzitická struktura je prakticky obrobitelná jen broušením.

Austenit se vyznačuje značnou tvárností a houževnatostí, ale má poměrně nízkou tvrdost. Molekulární adheze austenitu se projevuje intenzivním vznikáním nárůstku, který se periodicky odděluje a unáší částice řezného materiálu činných ploch nástroje. Tepelné a tlakové působení břitu nástroje na austenit v obrobené ploše se austenit mění na martenzit, a tím dochází k značnému zpevnění povrchové vrstvy, která brání vnikání břitu nástroje do materiálu obrobku. [1]

1.2.2 Vliv chemického složení

Z chemického složení vyplývají všechny vlastnosti obráběného materiálu. Ovlivňuje mikrostrukturu a chemickou aktivitu materiálu obrobku k materiálu břitu nástroje, která se projevuje vzájemnou adhezí, difúzí slitinových prvků obráběného materiálu do materiálu břitu nástroje, a naopak difúzí slitinových prvků řezného materiálu do obráběného materiálu a má schopnost vytvářet při vyšších teplotách chemické sloučeniny.

Z chemických prvků má největší vliv na obrobitelnost slitin železa uhlík. Oceli s malým obsahem uhlíku, mají dobrou tažnost a houževnatost. Při obrábění působí na nástroj molekulární adheze. Obecně lze říci, že se stoupajícím obsahem uhlíku se obrobitelnost zlepšuje.

Dalším chemickým prvkem ovlivňující obrobitelnost je mangan. Ten jako doprovodný prvek je rozpuštěn ve feritu. Ten mírně zvětšuje jeho pevnost a na zhoršení obrobitelnosti má mírný vliv. Při větším obsahu manganu tvoří s uhlíkem a železem

karbidy. Při obsahu manganu přes 8% vzniká komplexní austenitická struktura a obrobitelnost se značně zhoršuje.

Křemík tvoří do 0,5 % doprovodný prvek. Má silný abrazivní účinek na břit nástroje a zhoršuje obrobitelnost Litiny s obsahem 14 až 15 % Si jsou velmi křehké, tvrdé a prakticky neobrobitelné.

Síra a fosfor pomáhají utváření a oddělování třísky, zlepšuje obrobitelnost, zejména kvalitu obrobeného povrchu.

Olovo se v železe nerozpouští. Podobně jako síra napomáhá utváření a oddělování třísky a tak podstatně zlepšuje obrobitelnost. Používá se jako přísada do snadno obrobitelných ocelí, a to i vysokolegovaných.

Chrom spolu s uhlíkem podporuje v železe tvorbu stálých karbidů. Obecně platí, že vliv chromu na obrobitelnost se váže na obsah uhlíku v železe. Platí, že v ocelích s nízkým obsahem uhlíku je vliv chromu malý, naopak podstatně zhoršuje obrobitelnost s vysokým obsahem uhlíku.

Nikl tvoří se železem tuhý roztok. V nízkolegovaných ocelích je jeho vliv na obrobitelnost zanedbatelný. Při větším obsahu spolu s chromem nebo manganem tvoří austenitickou strukturu s výrazně zhoršenou obrobitelností.

Wolfram, vanad a molybden tvoří s uhlíkem stále karbidy a zhoršují obrobitelnost nepatrně.

Kobalt jako přísadový prvek ovlivňuje obrobitelnost jen nepatrně. Je základním prvkem žáropevných kobaltových slitin. Čistý kobalt je poněkud hůře obrobitelný než měkké oceli.

Hliník v žárovzdorných a precipitačně vytvrditelných ocelích leguje ferit, čímž mírně zhoršuje obrobitelnost, pomáhá však utváření krátkých třísek.

Titan jako přísada obrobitelnost prakticky neovlivňuje, v některých případech pomáhá utváření třísky. Technicky čistý titan je při vhodném druhu řezného materiálu a vhodné geometrii dobře obrobitelný.

Měď jako přísada do oceli téměř neovlivňuje obrobitelnost. Vliv dalších přísadových prvků jako je niob, zirkonium, bor se na obrobitelnost projevuje tím, jak působí na výslednou mikrostrukturu oceli a na tvrdost a houževnatost. [6]

1.2.3 Vliv způsobu výroby a tepelného zpracování

Na obrobitelnost ocelí má značný vliv jejich způsob výroby a tepelné zpracování. Jako příklad je uváděno, že oceli konvertorové mají lepší obrobitelnost než oceli vyráběné v elektrických pecích. Tento příklad vychází ze skutečnosti, že oceli vyráběné v konvertorových pecích mají vyšší obsah fosforu a dusíku, což má kladný vliv na obrobitelnost.

Oceli s nízkým obsahem uhlíku tažené za studena mají lepší obrobitelnost než oceli válcované za tepla, naopak oceli s vyšším obsahem uhlíku se lépe obrábějí ve stavu válcovaném za tepla. Nejvýrazněji se projevuje vliv způsobu výroby na obrobitelnost, u ocelí na odlitky, kdy obrobitelnost závisí na teplotě lití. Všeobecně platí, že čím vyšší je teplota oceli při odlévání, tím lepší je obrobitelnost. Podobně ovlivňuje obrobitelnost ocelí na odlitky rychlost chladnutí.

Tepelné zpracování je úzce spojeno s mikrostrukturou ocelí, a tím i nepřímo ovlivňuje její obrobitelnost. Jakým způsobem ovlivňuje mikrostruktura obrobitelnost je posáno v kapitole 1.2.1. Tepelným zpracováním je možno cíleně ovlivňovat strukturu materiálu tak, že kromě změny mechanických vlastností může být obrobitelnost přizpůsobena požadavkům. V následující tabulce je souhrně popsán vliv různých metod tepelného zpracování na obrobitelnost ocelových materiálů s ohledem na opotřebení nástrojů a tvoření třísek. [1]

Tabulka 1.2 Obrobitelnost v závislosti na tepelném zpracování

Metoda tepelného zpracování	Vliv na strukturu	Obrobitelnost
Normální žíhání	Rovnoměrná a jemně zrnitá struktura díky rekrytalizaci	Závisí na obsahu uhlíku v oceli: Ferit – špatné tvoření třísek, nízké opotřebení Perlit – lepší tvoření třísek, silnější opotřebování
Žíhání k vytvoření hrubého zrna	Hrubě zrnitá struktura, omezení kvůli vlivu na pevnost	Poměrně slabé opotřebování nástrojů, dobré tvoření třísek, vysoké kvality povrchů
Měkké žíhání	Perlit bohatý na ferit s globulárním cementitem	Příznivé opotřebování nástrojů, tvoření třísek se zhoršuje s rostoucím podílem feritu ve struktuře
Kalení	Martenzit	Silné brusné opotřebení nástrojů při použití tradičních řezných materiálů, dobré tvoření třísek

1.2.4 Vliv fyzikálních vlastností na obrobitelnost

Tvrdost, pevnost a houževnatost patří k nejdůležitějším fyzikálním vlastnostem majících vliv na obrobitelnost. Příliš vysoká tvrdost zvětšuje intenzitu abrazivního opotřebení a vysoká pevnost zvětšuje řeznou sílu. Příčinou intenzivního zpevnění v oblasti primární deformace a vzniku nárůstku, je velký rozdíl mezi pevností v tahu a mezí kluzu. Vzniklé nárůstky přebírají úlohu řezné hrany a v závislosti na podmínkách obrábění odcházejí na spodní straně třísky z nárůstků periodicky části materiálu. To může vést ke zvýšení adhezního opotřebení bříty, ke zvýšení teploty řezání a řezné síly, což má vliv na zhoršení kvality obrobené plochy a rozměrovou stálost. Proto se u těžkoobrobitelných materiálů doporučuje zvýšení posuvu a snížení řezné rychlosti z důvodů zmenšení velikosti zpevnění v oblasti tvoření třísky. Z dalších fyzikálních vlastností, které ovlivňují obrobitelnost jsou tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita. Nízká hodnota těchto činitelů způsobuje koncentraci tepla na bříty a tím i jeho okamžité porušení. [1]

1.3 Obrábění kalených ocelí

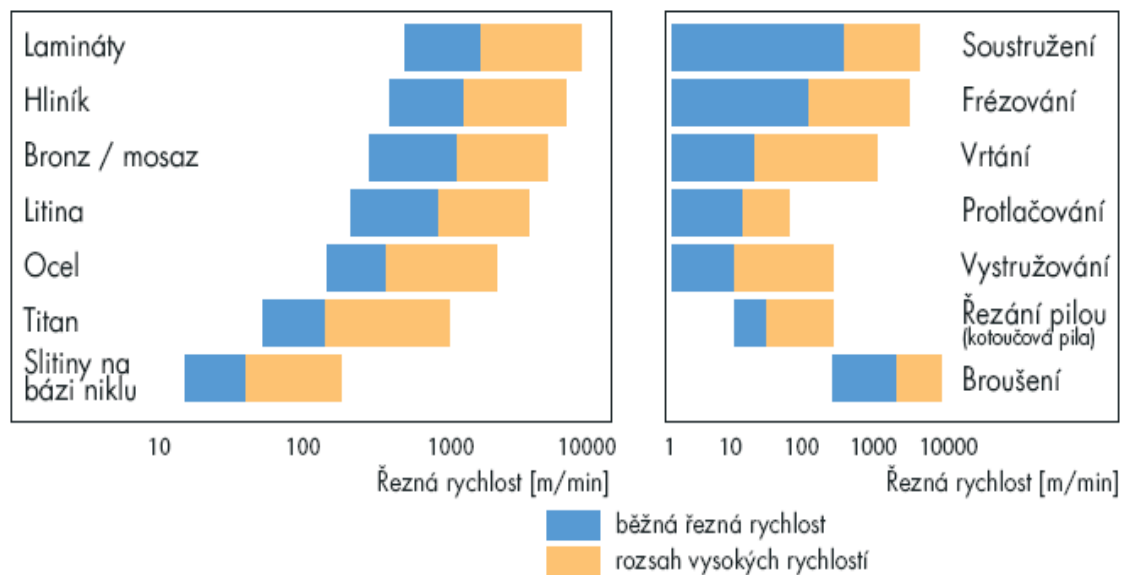
Kalené materiály se vyznačují vysokou tvrdostí. Pojmem vysoká tvrdost se z pohledu obrábění rozumí u ocelí a litin interval tvrdosti v rozsahu od 43 do 70 HRC. Mechanismus tvoření třísek při obrábění kalených ocelí je poněkud jiný. U tvrdých materiálů nedochází při normálních teplotách a tlacích k plastické deformaci a tudíž při obrábění nevzniká žádná střížná rovina ani oblast stříhu. Při obrábění kalených ocelí vzniká segmentová tříska, které předchází vytvoření trhliny před čelní plochou, která se zvětšuje až dojde k samotnému oddělení. Kalené oceli v porovnání s měkkými materiály způsobují při obrábění velmi vysoké řezné síly a teploty.

V minulosti se takto tvrdé materiály obráběly zpravidla elektrojiskrovou technikou, broušením jako metoda obrábění najemno nebo se obrábění realizovalo při nízkých řezných rychlostech. V současné době pro obrábění kalených ocelí existuje mnoho různých nástrojů a přípravků a možností jak je použít. Je několik základních metod jak postupovat při obrábění kalených ocelí. Záleží především na možnostech a vybavenosti strojního parku. Při obrábění kalených ocelí je možné se ubírat těmito směry. Je-li obrobna zařízena strojem, který nemá dostatečně velké otáčky a jeho dynamika je nedostačující, ale za to disponuje velkým výkonem a kroutícím momentem, připadá v úvahu zvolit možnost klasického obrábění. Pro toto obrábění jsou typické malé hodnoty řezné rychlosti a posuvu, ale velké hodnoty průřezu třísky. Při tomto způsobu obrábění musíme, ale počítat s velmi nízkou životností nástroje. Je-li k dispozici stroj, který disponuje vysokými otáčkami a dostatečnou dynamikou, je možno využít technologie vysokorychlostního obrábění, která je charakterizována vysokou řeznou rychlostí a posuvem, ale malým průřezem třísky. Další možnosti obrábění kalených materiálu je použití tvrdého obrábění. Tento způsob obrábění se ukazuje jako vhodná alternativa nahrazující dokončovací broušení kalených materiálů. [9],[10]

1.3.1 Výrobní technologie

Vysokorychlostní obrábění HSC

Vysokorychlostní obrábění (High Speed Cutting) je technologií využívající výrazně vyšších řezných rychlostí v_c při relativně malých hloubkách řezu. Podmínkou realizace tohoto obrábění jsou velmi výkonné, dostatečně tvrdé a tepelně odolné řezné nástroje, stroje vyznačující se vysokou tuhostí, prací bez vůlí a vibrací a stroje realizující vysoké posuvy a otáčky. Aby technologie vysokorychlostního obrábění byla optimálně využita je nezbytným požadavkem zajištění vysoké přesnosti házivosti od vřetena přes upínací pouzdro nástroje až po ostří. Technika upnutí musí být optimalizována tak, aby na ostří byla reprodukována co možná nejmenší chyba upnutí. Při vysokorychlostním obrábění dosahuje řezná rychlost 5 až 10x větších hodnot v porovnání s konvenčním obráběním. Přiřazení termínů k určitým řezným rychlostem je třeba vždy vidět v souvislosti s metodou obrábění, ale také s obráběným materiálem. Na následujícím obrázku je znázorněn rozsah řezných rychlostí při vysokorychlostním obrábění v závislosti na materiálu a metodě obrábění. [4], [5]



Obr. 1.2 Rozsah řezných rychlostí při HSC [4]

Jak při konvenčním tak při vysokorychlostním obrábění mají největší vliv na jejich průběh řezné podmínky a řezná geometrie nástroje. Zásadní změnou u HSC technologie v porovnání s konvenční metodou obrábění, je změna vzniku a odchodu třísky. Hlavním požadavkem u vysokorychlostního obrábění je zvýšení objemového úběru za časovou jednotku, čehož lze dosáhnout zvýšením řezné rychlosti posuvu. Vlivem zvyšování řezné rychlosti se zužuje oblast primární plastické deformace. To má za následek, že energie vydaná na plastickou a elastickou deformaci se soustředí do menšího objemu a tím vzniká nižší energetická spotřeba. Dochází k poklesu deformačního koeficientu. V místě řezu roste rychlost odchodu třísky a teplota, která má za následek snižování měrného řezného odporu. Zevní projevy zvýšené řezné rychlosti v podmínkách HSC znázorňuje následující obrázek. [4], [5]



Obr. 1.3 Zevní projevy zvýšené řezné rychlosti v podmínkách HSC [5]

S rostoucí řeznou rychlostí se objevují následující výhody:

- značné zkrácení časů obrábění,
- možnost zvýšení specifického objemu třísek,
- zvýšení rychlosti posuvu 5 až 10 krát,
- možnost snížení síly třískového obrábění,
- možnost obrábění geometricky komplikovaných součástek bez vibrací,
- možnost konečných úprav vysokorychlostním obráběním (kvalita povrchu téměř stejná jako při obrábění na čisto, tvarově stálé obrábění díky odvodu procesního tepla převážně třískami.

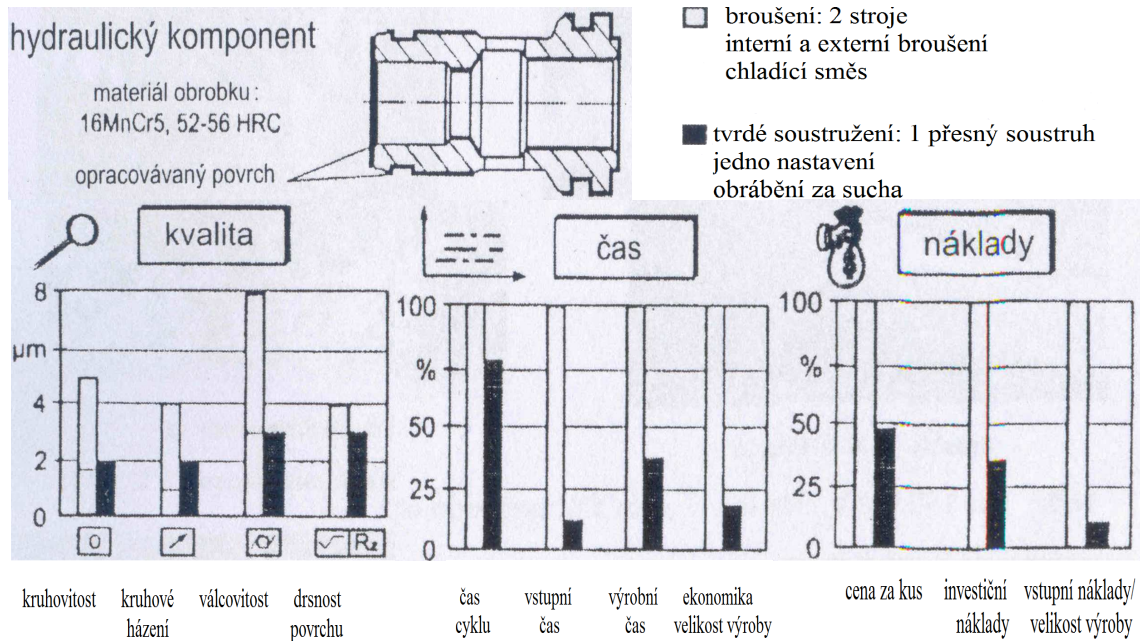
Mezi nevýhody vysokorychlostního obrábění naproti tomu patří:

- zkrácení životnosti nástroje s rostoucí řeznou rychlostí,
- řezné materiály a povlaky musí být přizpůsobeny parametrům,
- zatím nejsou známy optimální technologické parametry,
- pro každou součást musí být nová strategie obrábění .

[4]

Tvrdé obrábění

Hlavním cílem tvrdého obrábění je nahrazení dokončovacího broušení kalených a tvrdých materiálů obráběním s geometricky definovaným řezným klínem a realizace řezného procesu bez použití procesních kapalin a emulzí. Výhodou je vyloučení nebo nahrazení některých operací, jak před, tak po tepelném zpracování, což má za následek snižování průběžných časů výroby produktů. Při tvrdém obrábění se interval tvrdosti kalených ocelí pohybuje v rozmezí od 55 do 64 HRC. Tvrdé obrábění se realizuje při rychlostech řezání v rozmezí $100 - 175 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, menších hodnotách posuvu a hloubky řezu v porovnání se soustružením před tepelným zpracováním. Další z výhod tvrdého obrábění v porovnání s broušením je možnost obrábět součástky složitých tvarů jedním nástrojem a na jedno upnutí. Časové náklady bývají při obrábění takovýchto součástí složitých tvarů o 60 % nižší v porovnání s broušením a kvalita součásti je na úrovni broušení. Příklad porovnání výroby tvarově složité součásti tvrdým soustružením s broušením je uveden na následujícím obrázku 1.4 [9]



Obr. 1.4 Porovnání výroby hydraulického komponentu [9]

V porovnáním s dokončovacím broušením má tvrdé soustružení tyto výhody:

- vysoký úběr materiálu oproti broušení,
- flexibilita při opracování tvarově složitých ploch,
- teplo se při obrábění šíří jen do oblasti hrotu nástroje a tím je sníženo, ovlivnění povrchové vrstvy obrobku,
- v některých případech snížení výrobního času,
- výrazné omezení chladících kapalin,
- vhodné pro automatizovanou výrobu.

Mimo ty přednosti vykazuje tato technologie i některé nedostatky:

- drsnost obrobeného povrchu je výrazně ovlivněna řeznými podmínkami,
- požadavky na minimální hloubku řezu umožňující úběr materiálu,
- vysoké zatížení řezné hrany a tím může dojít k poškození nástroje,
- při obrábění za sucha je mezi nástrojem a obrobkem vyšší intenzita tření, proto je i generované teplo vyšší, to ovlivňuje obrobek i nástroj,
- vlivem mechanického zatížení může dojít k deformaci obrobku.

[9]

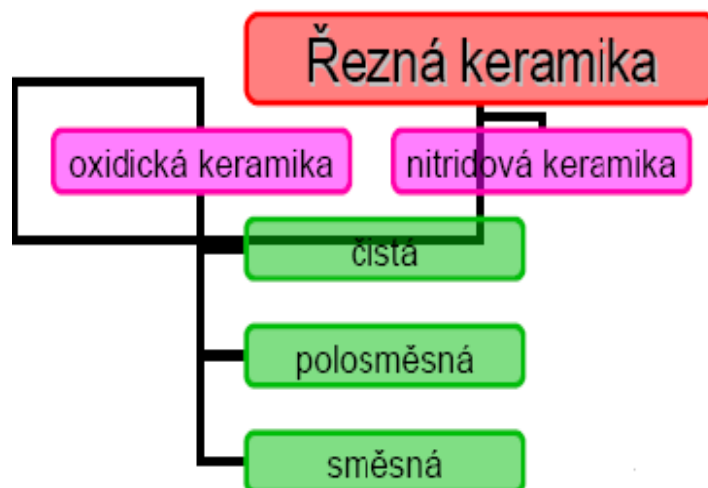
1.3.2 Řezné materiály pro obrábění kalených ocelí

Při obrábění kalených ocelí jsou na řezné materiály kladené velké nároky. Řezný materiál by měl vykazovat velkou tvrdost, otěruvzdornost a odolnost vůči vysokým teplotám, stejně tak jako dobrou vrubovou houževnatost, vysokou odolnost řezné hrany proti lomu a vydrolování. Tyto požadavky splňuje řezná keramika a kubický nitrid boru.

Řezná keramika je materiálem tvrdým vyznačující se vysokou tvrdostí za tepla, tepelnou odolností, nízkou měrnou hmotností a odolností proti opotřebení. Výhodou tohoto řezného materiálu je, že nereaguje s materiálem obrobku. Rozlišujeme dva základní typy řezné keramiky:

- a) keramika na bázi oxidu hlinitého, která má v porovnání se slinutými karbidy nižší pevnost a houževnatost, je ale obzvláště vhodná pro obrábění kalených ocelí,
- b) keramika na bázi křemíku, z hlediska obrábění má v porovnání s keramikou na bázi oxidu hlinitého vyšší lomovou houževnatost, výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy.

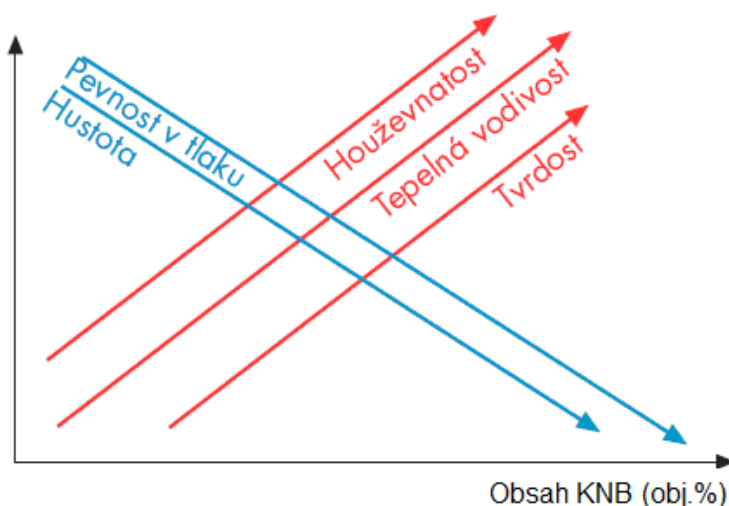
[14]



Obr.1.5 Rozdělení řezné keramiky [14]

Destičky z řezné keramiky se vyrábějí spékáním, tzv. práškovou metalurgií. K základní surovině se přidá určitý obsah podpůrných látek, které zlepšují proces slinování a zabraňují růstu zrna. Pro dosažení rovnoměrného rozdělení složek v jemný homogenní prášek, se musí směs dokonale promíchat. Tato směs je navlhčena a dále se rozmělnuje, aby se dosáhlo jemnějšího rozložení. Následuje sušení hmoty. Vzniklý prášek se lisuje do tvaru briket. V poslední fázi dochází ke spékání ve speciálních pecích a k řezání s následným broušením briket na požadovaný rozměr destičky. [12], [13]

Druhým řezným materiálem, který splňuje nároky na obrábění kalených ocelí je již zmiňovaný kubický nitrid boru (KNB). Jedná se o syntetický materiál, který se v přírodě nevyskytuje. Vyrábí se syntézou z hexagonálního nitridu boru za vysokých teplot a tlaků. Kubický nitrid boru se vyznačuje vysokou mikrotvrdostí, tepelnou stálostí, a tvrdostí. Má vysokou pevnost v tahu. Je chemicky netečný k obráběnému materiálu zejména k železu a jeho slitinám. Řezné vlastnosti kubického nitridu boru lze při výrobě ovlivňovat a to zejména množstvím a druhem pojící a přísadové fáze a velikostí výchozích krystalů. Nízký obsah KNB v kombinaci s keramickým pojivem dává lepší chemickou stálost a odolnost proti opotřebení. Tento řezný materiál je určen především pro dokončovací operace. Pro obrábění nahrubo je třeba volit řezný materiál s vyšším obsahem KNB viz. obr. 1.6



Obr. 1.6 Vlastnosti řezných materiálů KBN [4]

Kubický nitrid boru se používá jako polykrystalický řezný materiál ve třech různých formách provedení:

- a) jako masivní vyměnitelná břitová destička,
- b) jako povlak, napečený na podkladu z tvrdokovu,
- c) jako řezné těleso, naletované na podkladu z tvrdokovu,

Oblasti použití řezné keramiky a kubického nitridu boru se kryjí a vzájemně doplňují. Bohatý nástrojový sortiment s těmito řeznými materiály umožňuje nalézt optimální řešení obráběného procesu z hlediska hospodárnosti, a to jak v oblasti vysokorychlostního, tak tvrdého obrábění. [4], [13],

2. Rozbor stávající technologie výroby

V této kapitole diplomové práce bude proveden popis a objasnění stávající technologie výroby kalených válečku, jakožto součástí válcovacích stolic. Představitel výroby pro diplomovou práci vzešel z výrobního programu společnosti Strojírny Třinec, a. s. Tento podnik se zabývá výrobou strojírenských výrobků. Mezi nejvýznamnější představitele výroby této společnosti patří technologické celky, ocelové konstrukce, zařízení pro hutní provozy, strojní součásti, náhradní díly, hutní válce a upevňovací prvky železničního svršku – drobné kolejivo.

Strojírny Třinec, a.s. je podnik s dlouholetou historií. Samé počátky vzniku společnosti sahají až na konec 80. let 19. století, kdy Strojírny Třinec, a.s. ještě nepůsobily jako samostatný podnik, ale byly součástí Třineckých železáren, a.s. (dále jen TŽ, a.s.). Původní mechanické dílny, které sloužily především jako údržba pro všechny ostatní provozy TŽ, a.s., se postupně rozrůstaly o další provozy a procházely nejrůznějšími modernizacemi. Roku 1997 vznikla TŽ – strojírenská výroba, a.s. jako dceřiná společnost TŽ, a.s. a roku 2005 byl změněn název na nynější znění Strojírny Třinec, a.s. Základem společnosti jsou tři výrobní celky, a to Mechanické dílny, Soustružna válců a provoz Drobného kolejiva. Součástí firmy je i samostatný útvar Konstrukce. Díky moderně vybavenému strojnímu parku mohou Strojírny Třinec, a. s. nabídnout širokou paletu výrobních možností. Moderní obráběcí stoje, vybavení konstrukčních dílen moderní svařovací technikou, oprávnění ke svařování nejnáročnějších konstrukcí, přístup ke kvalitním ocelím z hutní mateřské společnosti vytváří předpoklady, aby společnost Strojírny Třinec, a. s. byla velmi moderní a kvalitní strojírenskou firmou.

Válečky jsou vyráběny v základních rozměrových řadách od průměru 50 do 150 mm a jsou dodávány výhradně pro mateřskou společnost Třinecké železářny a. s. Výroba těchto válečku je malosériová, s výrobní dávkou 1000 kusů ročně. Válečky jsou součástí válcovacích stolic na kontijemné profilové trati (obr. 1.7) ve výrobním celku Kontijemná válcovna TŽ a. s. Na této trati je vyráběna kruhová a čtvercová ocel v tyčích i ve svitcích, plochá ocel, oblinová ocel a betonářská žebírková ocel.



Obr. 2.1 Kontijemná profilová trať [15]

K válečku postupují kontislitky a sochory tímto způsobem: z vratné tratě jsou ohřívány v krokové peci, za kterou je umístěn ostřík okují a čtyřstolicové jednožílové přípravné pořadí. Za osmistolicovou dvoužilovou předtrati následuje samostatné pravé a levé hotovní pořadí. Následuje profilová trať, na které jsou válečky ustaveny ve svislé poloze po dvojici na válcovací stolicí v tzv. vpusti (obr. 1.8). Hlavní funkcí válečků je navedení kontislitky nebo sochoru na požadovaný kalibr válcování. [15]



Obr. 2.2 Pohled na vpust' a polohu válečků

2.1 Popis vyráběné součásti

Vyráběnou součástí je váleček o průměru $\varnothing 15$, délky 150 mm. Váleček má po svém obvodu vysoustružen rádius o poloměru 120,6 a 50,3 mm. Zhotovený rádius představuje funkční část válečku, který tvoří ve dvojici s rádiusem sousedního válečku požadovaný kruhový profil pro navedení sochoru nebo kontislitku na kalibr válců. Ve válečku je zhotoven průchozí otvor $\varnothing 43$ mm, který navazuje na otvory $\varnothing 80$ H7 mm pro uložení ložisek. V příloze č. 1 je uveden výrobní výkres válečku. (č. v. – VC2 – 315 – 09) . Na následujícím obrázku 2.3 je znázorněno schéma válečku.



Obr. 2.3 Schéma válečku

2.2 Charakteristika materiálu součástí

Váleček bude vyroben z materiálu ČSN 19 436 (DIN X210Cr12), který bude dále upraven tepelným zpracováním na požadovanou tvrdost 55 ± 2 HRC. Budu se tedy zabývat skupinou oceli, do které spadá materiál součásti, což jsou nástrojové, vysokolegované, chromové oceli.

Podle použití rozlišujeme vysokolegované chromové oceli na korozivzdorné a žáruvzdorné. Mechanismus ochranného působení chromu je v každém z těchto případů poněkud jiný. Oceli antikorozní obsahují 13 až 17% Cr. Toto množství chromu obsahují antikorozní oceli z důvodů vyvolání pasivity vůči elektrochemickému působení korozního činidla. Oceli žáruvzdorné jsou proti koroznímu prostředí chráněny vrstvou oxidu, která je tím odolnější čím víc chromu obsahuje. Podle teploty použití těchto ocelí je obsah chromu v rozmezí od 7 do 30 %.

Podle struktury a strukturních přeměn se chromové oceli rozlišují na:

- oceli feritické, které se nedají tepelně zpracovat na vyšší pevnost nebo tvrdost,
- oceli kalitelné, u nichž lze měnit mechanické vlastnosti tepelným zpracováním, vysoký obsah chromu a vyšší obsah uhlíku, má za příčinu vznik bainitu,
- oceli poloferitické, mají směs vlastností feritických i kalitelných ocelí.

[1], [6]

Vysoce legovaná chromová ocel s označením dle DIN X210Cr12 s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu. Má zvlášť vysokou odolnost proti opotřebení jak kovovými tak minerálními látkami. Dále vyniká dobrou řezivostí, velmi vysokou pevností v tlaku. Vyznačuje se značně nízkou houževnatostí zejména v příčném směru a výraznou karbidickou řádkovitostí. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování. Ocel je citlivá na rychlý a nestejný ohřev, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost (možnost nitridování). Dále se ocel velmi obtížně brousí, obtížně tváří za tepla a má poněkud ztíženou obrobitelnost v žíhaném stavu. V následujících tabulkách je uvedeno chemické složení, mechanické a fyzikální vlastnosti a doporučené tepelné zpracování této oceli. [8]

2.3 Tabulka chemického složení oceli [8]

[hm. %]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
1,80–2,05	0,20-0,45	0,20-0,45	max 0,030	max 0,035	11,0-12,5	Max 0,50

2.4 Tabulka mechanických a fyzikálních vlastností [8]

Mechanické vlastnosti	
Stav	kalený a popuštěný
Tvrдость HRC	57-64
Mez kluzu v tlaku R_{et} [MPa]	2 700-3 000
Pevnost v ohybu R_{mo} [MPa]	3 800
Fyzikální vlastnosti	
Hustota ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	7710
Teplotní součinitel roztažnosti α [K^{-1}]	$12\cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	30

2.5 Tabulka tepelného doporučeného zpracování [8]

Způsob	Teplota	Ochlazování
žihání na měkko	750 – 780°C	ochlazovat v peci, max tvrdost 25HB
žihání ke snížení pnutí	600 – 650°C	ochlazovat v peci
kalení	a) 930 – 960°C	ochlazovat v oleji nebo termální lázni cca 450°C minimální tvrdost po kalení ~ 61 HRC
	b) 950 – 980°C	ochlazovat dmých. vzduchem u kusů do tloušťky 30 mm, min tvrdost po kalení ~ 61 HRC
	c) 1040 – 1080°C	ochlazovat v oleji nebo lázni 450°C pro sekund. vytvrzování, min. tvrdost po kalení ~ 57 HRC
popouštění	150 – 300°C	ochlazovat na vzduchu
nitridace	480 – 510°C	nástroje nutno kalit z teplot 1040 - 1080°C a popouštět při 510 - 520°C

2.2.1 Orobitelnost vysokolegovaných chromových ocelí

Vysokolegované chromové oceli mají v žíhaném stavu strukturu složenou z feritu a vyloučených zrn podvojných karbidů, chromu a železa. Ferit je poměrně měkký a houževnatý, způsobuje tvoření nárůstků, které zhoršují kvalitu obrobeného povrchu a snižuje rozměrovou přesnost. Čím více chromu struktura obsahuje tím je větší sklon k tvorbě nárůstku. Tento jev působí nepříznivě při dokončovacích operacích, jako je vystružování, řezání závitů, ale i protahování. Je-li požadovaná větší kvalita povrchu, je vhodné kalitelné oceli s nízkým obsahem uhlíku a poloferitické oceli tepelně zpracovat. Doporučuje se kalit a popuštět na tvrdost mírně vyšší než ve stavu žíhaném. Nežádoucí strukturní složkou, vyskytující se u kalitelných ocelích v zušlechtěném stavu, je sorbit. Ten velmi zhoršuje obrobitelnost a je vázán na uhlík. Obrobitelnost se zhoršuje tím více, čím vyšší obsah uhlíku ocel obsahuje. Nastane-li případ, že tyto oceli mají v zakaleném stavu čistě martenzitickou strukturu, dají se obrábět pouze broušením. Komplexní karbidy chromu a železa působí na nástroj abrazivně, tím značně snižují obrobitelnost.

Z chemického složení má rozhodující vliv na obrobitelnost uhlík. Se stoupajícím obsahem uhlíku se obrobitelnost zhoršuje. Působení chromu na obrobitelnost je vázáno na obsah uhlíku v oceli. Čím nižší je obsah uhlíku, tím méně působí chrom na obrobitelnost. Opačně je tomu v případě, když ocel obsahuje vysoké množství uhlíku, pak obrobitelnost značně snižuje. Obsah niklu v těchto ocelích je velmi malý, pohybuje se v rozmezí od 0,6 do 2 %. Proto jeho vliv na obrobitelnost zanedbáváme. Jeho působení je významné jen u precipitačně vytvrditelných ocelí. Z dalších chemických prvků, který působí na obrobitelnost je měď. Její působení má obdobné účinky na obrobitelnost jako působení niklu. Chemické prvky jako titan, hliník a křemík prakticky obrobitelnost neovlivňují nebo jí jen mírně snižují. Pro docílení zlepšení obrobitelnosti vysokolegovaných ocelí se doporučuje zvyšování obsahu síry a fosforu nebo se přidávají další prvky jako například selen a zirkon. Tyto chemické prvky způsobují lámavost třísek a zlepšují tak jejich utváření. [1],[6]

2.2.2 Technologické podmínky pro obrábění vysokolegovaných chromových ocelí

Obecně při obrábění těžkoobrobitelných materiálů je zapotřebí dodržovat několik základních doporučení. Prioritou je zaručení dostatečné tuhosti celé soustavy stroj - nástroj - obrobek. Proto volíme tuhé obráběcí stroje dostatečných výkonů a větších velikostí, s vymezenými vůlemi posuvových mechanismů, saní, suportů a ložisek vřetena. Nedodržení těchto doporučení by mělo za následek vznik chvění, které způsobuje řadu negativních účinků, jako nesprávný geometrický tvar obrobku, urychlené opotřebení nebo i poškození břitu nástroje.

Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů působí na nástroj vysoké teploty a řezné síly. Z těchto důvodů musí být voleny soustružnické nože větších průřezů, frézy větších průměrů a vrtáky se zesíleným jádrem, aby odvod tepla byl dostačující. Upnutí nástrojů musí vykazovat vysokou tuhost. Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami musí mít dokonalé tuhé upnutí.

Geometrie nástrojů pro těžkoobrobitelné materiály musí vyhovovat těmto požadavkům:

- dostatečná pevnost řezného klínu,
- klidný průběh řezání,
- maximální trvanlivost nástroje při minimálním opotřebení,
- minimální spotřeba energie a výhodný poměr složek řezných sil.

Pro obrábění vysocelegovaných chromových ocelí je možno vhodně používat nástrojů se slinutými karbidy skupiny P podle normy ISO, jejichž základní složkou je karbid wolframu. Tato skupina slinutých karbidů je vhodná pro materiály dávajících dlouhou, plastickou třísku. Řezný proces je doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele, proto přísadovými prvky této skupiny SK jsou TiC a TaC, které zlepšují odolnost proti opotřebení. [1], [13]

2.3 Výrobní stroje stávající technologie

V současné době je obrábění válečku na obrobně mechanických dílen realizováno těmito výrobními stroji: kopírovací soustruh a hrotová bruska.

Kopírovací soustruh

Na tomto obráběcím stroji se provádějí jak hrubovací operace, a to hrubování vnějšího tvaru a vnitřního otvoru, tak operace dokončovací, které jsou realizovány na tomto stroji po tepelném zpracování.

Typ: SU 50 (obr. 2.4)

Technické parametry stroje:

- | | | |
|--------------------------------|-------|---------|
| • Výkon hlavního elektromotoru | 11 | kW |
| • Oběžný průměr nad ložem | 500 | mm |
| • Oběžný průměr nad suportem | 250 | mm |
| • Vzdálenost mezi hroty | 2000 | mm |
| • Rozměry: | délka | 4420 mm |
| | šířka | 1180 mm |
| | výška | 1250 mm |
| • Hmotnost | 3260 | kg |



Obr. 2.4 Kopírovací soustruh SU 50

Hrotový bruska

Druhým obráběcím strojem je hrotová bruska. Tento obráběcí stroj slouží pro finální operaci, dokončení předsoustruženého otvoru ve válečku na požadovaný rozměr.

Typ: BUB 32/1500 (obr. 2.5)

Technické parametry stroje:

- | | | | |
|-----------------------------------|-------|------|----|
| • Příkon | | 16 | kW |
| • Oběžný průměr | | 300 | mm |
| • Max. hmotnost obrobku v hrotech | | 350 | kg |
| • Vzdálenost mezi hroty | | 1500 | mm |
| • Rozměry: | délka | 4600 | mm |
| | šířka | 1980 | mm |
| | výška | 1760 | mm |
| • Hmotnost | | 5300 | kg |



Obr. 2.5 Hrotová bruska BUB 32/1500

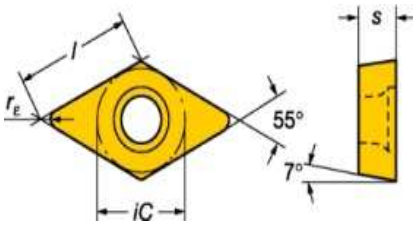
2.4 Výrobní nástroje stávající technologie

Pro obrábění válečku stávajícími technologiemi se používají soustružnické nože firmy Pramet a Sandvik Coromant. Soustružnické nože jsou osazeny vyměnitelnými břitovými destičkami z tvrdokovu rovněž těchto výrobců. Pro vrtání otvoru se používá monolitní spirálový vrták HSS. Dokončovací operace předsoustruženého otvoru je realizována brusným kotoučem.

Nástroje pro soustružení

- Vyměnitelné břitové destičky firmy Sandvik Coromant, jsou používány pro hrubování vnějšího tvaru válečku, typ DCMT 11T3 08-PR tab. 2.6 a pro dokončení vnějšího tvaru válečku, typ DCMT 11T3 02-PF tab. 2.7

Tab. 2.6 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	DCMT 11 T3 08-PR 4235	l	iC	s	r _E
		11	9.525	3.96875	0,8

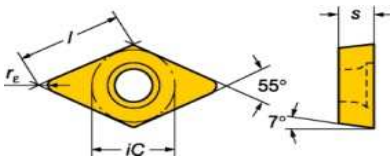
Používané řezné podmínky:

- otáčky: $n = 100 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku: $f_n = 0,20 \text{ mm}$
- hloubka řezu: $a_p = 2 \text{ mm}$

Materiál VBD: GC4235 (HC) - P35 (P20-P45)

- Karbidová třída s CVD povlakem pro hrubovací operace v oceli a ocelových odlitcích

Tab. 2.7 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	DCMT 11 T3 02-PF 4225	l	ic	s	re
		11	9.525	3.96875	0,2

Používané řezné podmínky:

- otáčky: $n = 120 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku: $f_n = 0,10 \text{ mm}$
- hloubka řezu: $a_p = 0,2 \text{ mm}$

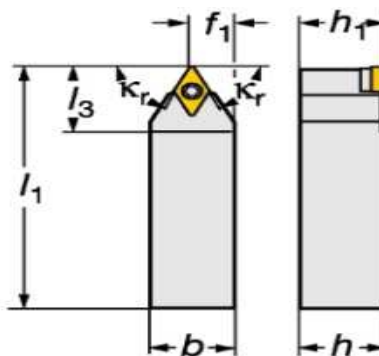
Materiál VBD: GC4225 (HC) - P25 (P10-P35)

- Karbidová třída s CVD povlakem pro hrubovací operace v oceli a ocelolitině.

Nožové držáky typu SDNCN pro vnější soustružení (obr. 2.5) firmy Sandvik Coromnt se používají pro obě vyměnitelné břitové destičky DCMT 11T3 08 - PR a DCMT 11T3 02-PF

Tab. 2.8 Parametry nožového držáku SDNCN

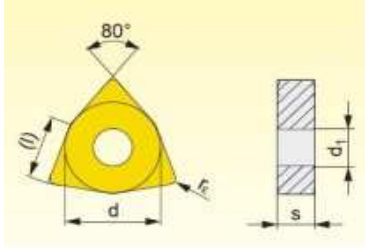
Označení ISO	Rozměry [mm]					
SDNCN	$h=h_1$	b	f_1	l_1	l_3	κ_r°
2020K 11	20	20	10,5	125	21,9	62,5



Obr. 2.5 Nožový držák typu SDNCN

- Vyměnitelné břitová destička firmy Pramet, typu WNMG je používána pro zarovnání čel válečku.

Tab. 2.9 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	WNMG 080404E-F	(l)	d	s	r_ϵ
		8,7	12,7	4,76	0,4

Používané řezné podmínky:

- otáčky: $n = 110 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku: $f_n = 0,30 \text{ mm}$
- hloubka řezu: $a_p = 1 \text{ mm}$

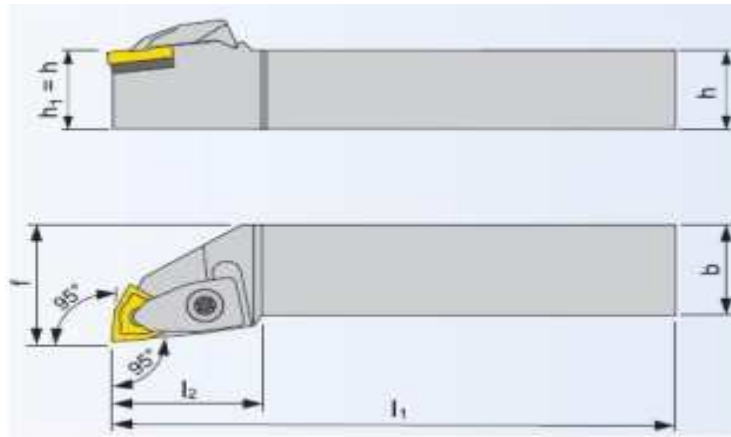
Materiál VBD: 8030

- Submikronový substrát typu H, nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD, kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí

Pro destičku typu WNMG je používán nožový držák typu DWLNR (obr. 2.6) firmy Pramet pro vnější soustružení firmy.

Tab. 2.10 Parametry nožového držáku DWLNR

Označení ISO	Rozměry [mm]					
DWLNR 2525 M 08	$h=h_1$	b	f	l_1	$L_{2\max}$	κ_r°
	25	25	32	150	35	95



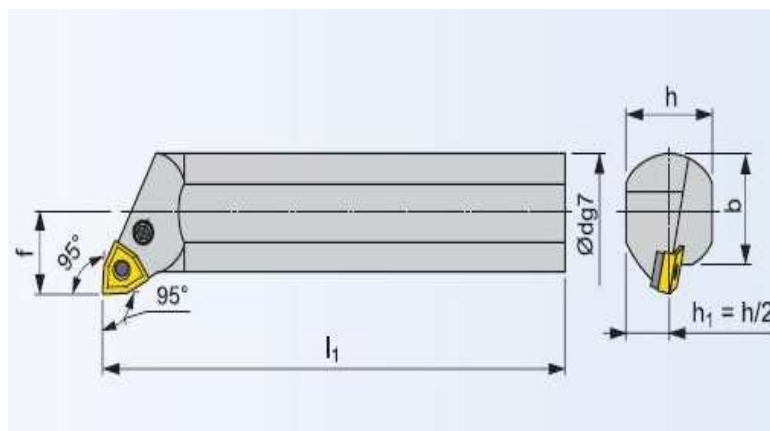
Obr. 2.6 Nožový držák typu DWLNR

- Pro soustružení vnitřního otvoru je používána destička firmy Pramet stejného typu jako pro operaci zarovnání čel válečku viz tab.2.18.

Pro destičky WNMG 080404E-F a operace hrubování a dokončování vnitřního otvoru $\varnothing 70$ mm je používán nožový držák firmy Pramet typu PWLNL pro vnitřní soustružení (obr. 2.7)

Tab. 2.11 Parametry nožového držáku PWLNR

Označení ISO	Rozměry [mm]					
A25R- PWLNR 08	dg7	f	l_1	h	b	κ_r°
	25	17	200	23	23	95



Obr. 2.7 Nožový držák typu PWLNR

Nástroj pro vrtání

- Spirálový vrták HSS - ISO 116340

Tento nástroj jak ukazuje obr. 2.8 je používán pro vrtání díry ve válečku na požadovaný rozměr $\varnothing 43$ mm.

Parametry vrtáku:

- průměr vrtáku : $D = 43$ mm
- délka řezné části: $l_1 = 210$ mm
- délka vrtáku: $l = 359$ mm
- stopka: s Morse kuželem

Používané řezné podmínky:

- otáčky: $n = 45 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku: $f_n = 0,20$ mm



Obr. 2.8 Spirálový vrták HSS N 43mm

Nástroj pro broušení

- Brusný kotouč

Tento nástroj je používán pro finální operaci, dokončení předsoustruženého otvoru ve válečku na požadovaný rozměr.

Parametry brusného kotouče:

- průměr kotouče $D = 50$ mm
- šířka kotouče $\bar{s} = 30$ mm
- broušení oceli < 67 HRC

Používané řezné podmínky:

- otáčky: $n = 45 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku: $f_n = 0,05 \text{ mm}$

Složení kotouče: mikrokrytalický umělý korund s keramickým pojivem.

2.5 Stávající technologický postup

Současná výrobní technologie válečku je prováděna na konvenčních strojích. Jak již bylo uvedeno v předchozím textu jedná se o kopírovací soustruh SU 50 a hrotovou brusku BUB 32/1500. Polotovarem pro vyráběnou součást je kruhová tyč Ø 160 mm dodávaná do mechanických dílen ve stavu po žíhání na měkko.

Hrubé opracování polotovaru je provedeno na kopírovacím soustruhu SU 50. Mezi hrubovací operace před tepelným zpracováním patří soustružení vnějšího tvaru, délkových rozměrů a vnitřních otvorů Ø 80 H7 mm s přídávkem na broušení, ostatní operace jsou obráběny s přídávkem 0,5 mm na plochu. Hotově je na tomto soustruhu před tepelným zpracováním provedeno vrtání díry Ø 43 mm a následné soustružení díry Ø 70 mm. Po těchto operacích následuje tepelné zpracování, které je prováděno externí firmou. Postup tepelného zpracování je v následující tabulce.

Tab. 2.12 Postup tepelného zpracování válečku

Tepelné zpracování	Kalení	Popouštění	Žíhání na odstranění vnitřního pnutí
Teplota	960°	2 x 350-400°	600°
Doba	1 hod	2 hod	2 hod
Prostředí	olej	vzduch	pec

Po tepelném zpracování je součást obráběna na hotovo. Na kopírovacím soustruhu SU 50 jsou přerovnány délkové rozměry na konečné míry. Následuje dokončovací

broušení otvorů Ø 80 H7 mm na hrotové brusce. Poslední operací je dokončení vnějšího tvaru válečku na trnu na kopírovacím soustruhu SU 50.

Pro přehlednost jsem zpracoval pro stávající technologii výroby rámcový technologický postup (tab. 2.13), ve kterém je uveden sled jednotlivých operací.

Tab. 2.13 Rámcový technologický postup

Operace	Stroj	Nástroj (VBD)	Popis operace
10			– řezat na $l = 160$ mm
20	SU 50	DCMT 11T3 08-PR WNMG 080404E-F HSS - ISO 116340 WNMG 080404E-F WNMG 080404E-F	– soustružit vnější tvar s přídkem 0,5 mm na plochu – délkové rozměry s minimálním přídkem na plochu – vrtat Ø 43 mm – soustružit otvory Ø 80H7 mm s přídkem pro broušení – soustružit otvory Ø 70 mm hotově
30	zámečník		– ožehlení, balení
40	tepelné zpracování		– kalení
50	SU 50	WNMG 080404E-F	– soustružit délkové rozměry na konečné míry
60	BUB 32/1500	brusný kotouč	– brousit otvory Ø 80H7 na hotovo
70	SU 50	DCMT 11T3 02-PF	– soustružit hotově na trnu vnější tvar válečku
80	zámečník		– ožehlení, konzervace
90			– výstupní kontrola

3. Návrh nové technologie výroby

Při návrhu nového řešení technologie obrábění, vycházím ze současného stavu výroby válečku. Hlavním podnětem pro návrh inovací stávající technologie výroby je změna v tepelném zpracování součásti. Plánuje se, že tepelné zpracování bude realizováno na provozu Mechanických dílen a ne v externí firmě jak tomu bylo doposud. Tato skutečnost zapříčinila, nahrazení kalení v kalicí peci u stávající technologie výroby, kalením vakuovým. Postup tepelného zpracování zůstane zachován.

Vakuovým kalením rozumíme ohřev zpracovaných dílů v plnostěnném zařízení. Odsátím vzduchu se dosáhne vakua. Vsázka je pomocí grafitových tyčí postupně ohřívána v několika krocích až na kalicí teplotu. Při kalení v klasické kalicí peci reaguje kyslík s povrchem součásti a nastává oxidace. Tato reakce je tím silnější, čím je teplota vyšší. Dochází k tvorbě okují a k častému nebo úplnému oduhličení. Takto vzniklá vrstva se dá odstranit pouze mechanicky. Při vakuovém kalení poskytuje vakuum ochranu před oduhličením. I při vysokých teplotách, které se ve vakuových pecích vyskytují, jsou součásti po kalení kovově lesklé. Nejpodstatnější výhodou vakuového kalení v porovnání s kalením v klasických pecích je fakt, že dochází k podstatně menším rozměrovým změnám a deformacím. V neposlední řadě je vakuové kalení ekologické, čisté a díky moderním řídicím jednotkám také hospodárné. [19]

Změna v tepelném zpracování součásti vedla k návrhu nových řešení technologie obrábění. Vzhledem k rozměrové stálosti a k malým deformačním změnám, které nastávají po vakuovém kalení, je možné obrábět celou součást před tepelným zpracováním hotově, s výjimkou přesných otvorů Ø 80H7 mm pro uložení ložisek. Tyto otvory budou zhotoveny s určitým přídávkem pro dokončení a po tepelném zpracování obráběny na konečný rozměr. Pro tyto změny ve stávající technologii výroby válečku je zapotřebí navrhnout vhodné výrobní stroje, nástroje a navrhnout nový technologický postup výroby. Touto problematikou se zabývám v následujících kapitolách diplomové práce.

3.1 Volba strojů pro novou technologii výroby

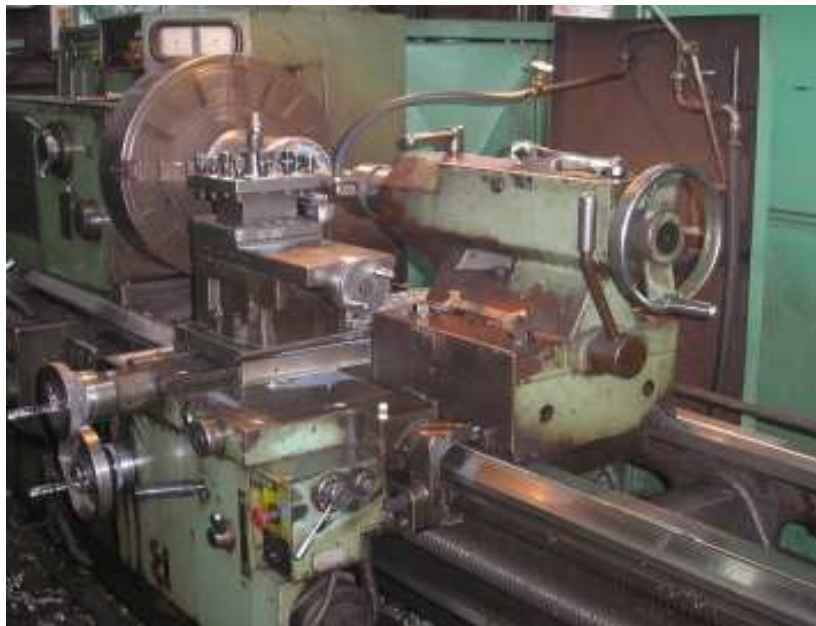
Hrotový soustruh

Na tomto obráběcím stroji bude zhotoven vnitřní tvar válčku. Budou zde provedeny operace jak hrubovací tak dokončovací. Vrtání otvoru $\varnothing 43$ a $\varnothing 70$ mm, dále hrubování otvoru $\varnothing 80$ H7 mm s přídavkem pro dokončení po tepelném zpracování.

Typ: SUI 80 RP (obr. 2.9)

Technické parametry stroje:

- | | | |
|--------------------------------|-------|---------|
| • Výkon hlavního elektromotoru | 29 | kW |
| • Oběžný průměr nad ložem | 800 | mm |
| • Oběžný průměr nad suportem | 520 | mm |
| • Vzdálenost mezi hroty | 4000 | mm |
| • Rozměry: | délka | 6390 mm |
| | šířka | 1650 mm |
| | výška | 1650 mm |
| • Hmotnost | 6400 | kg |



Obr. 2.9 Hrotový soustruh SUI 80 RP

NC soustruh

Jedná se o NC soustruh SE 520 NUMERIC, který je určený pro přesné obrábění jednoduchých, ale i složitých tvarů z kovu a plastu. Na tomto obráběcím stroji budou provedeny hrubovací a dokončovací operace vnějšího tvaru válečku. Bude zde rovněž provedeno dokončení otvorů Ø 80 H7 mm.

Typ: SE 520 NUMERIC (obr. 2.10)

Technické parametry stroje:

Pracovní rozsah

• Vzdálenost hrotů	1500	mm
• Oběžný průměr nad ložem	520	mm
• Oběžný průměr nad suportem	290	mm
• Průměr sklíčidla	250/300	

Nástrojový systém

• Upínač nástrojů	MULTIFIX
-------------------	----------

Vřeteno

• Vrtání vřetene	77	mm
• Vnitřní kužel - metrický	85	mm
• Rozsah otáček 1.stupeň	7-650	min ⁻¹
• Rozsah otáček 2.stupeň	30-2600	min ⁻¹

Suporty s pohonem

• Rozsah posuvu příčného suportu	1-3000	mm. min ⁻¹
• Rychloposuv příčného suportu	3	m. min ⁻¹
• Rozsah posuvu příčného suportu	1-5000	mm. min ⁻¹
• Rychloposuv příčného suportu	5	m. min ⁻¹
• Zdvih příčného suportu	270	mm

- Zdvih podélného suportu 950/1450 mm

Koník

- Průměr hrotové objímky 80 mm
- Vnitřní kužel hrotové objímky MORSE 5
- Zdvih hrotové objímky 160 mm

Řídicí systém

- HEIDENHAIN MANUAL plus
4110

Rozměry stroje

- Délka 4610 mm
- Šířka x výška 1560x1800 mm

Hmotnost 2700 kg



Obr. 2.10 NC sostruh SE 520 NUMERIC

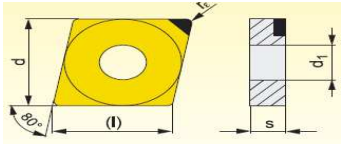
3.2 Volba nástrojů pro novou technologii výroby

Pro novou technologii obrábění bude volba většiny nástrojů obdobná jak u stávající technologie výroby a to především pro soustružení. Změna nástroje se bude týkat především dokončovací operace broušení otvoru $\varnothing 80$ H7 mm. U zmiňované operace bude dokončovací broušení nahrazeno soustružením. Jedná se tedy o náhradu brusného kotouče soustružnickým nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou s KNB. Další změnou v oblasti volby nástroje s porovnáním s předchozí technologií výroby bude volba a návrh sdrúženého vrtáku pro operaci vrtání otvoru $\varnothing 43$ a $\varnothing 70$ mm. Pro ostatní operace zůstane volba nástrojů stejná.

Nástroje pro soustružení

Pro soustružení se nadále budou používat vyměnitelné břitové destičky a nožové držáky stejných výrobců. Jak již bylo výše uvedeno pro soustružení vnějšího tvaru válečku bude volba nástrojů stejná. Pro dokončovací operaci soustružení otvoru $\varnothing 80$ H7 mm bude použita vyměnitelná břitová destička firmy Pramet typu CNMA v provedení naletovaného řezného tělesa s KNB na podkladu z tvrdokovu.

Tab. 3.14 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	CNMA 120408FN	l	d	s	r_e
		12,9	12,7	4,76	0,8

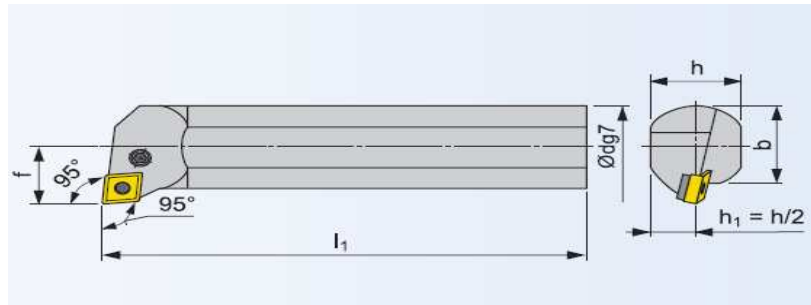
Materiál VBD: PB2

- pro dokončovací i hrubovací obrábění, vhodný i pro mírně přerušovaný řez
- vysoký obsah KBN
- obrábění materiálů skupin K a H

Pro destičku typu CNMA 120408FN bude použit nožový držák typu PCLNR (obr. 3.11) firmy Pramet pro vnitřní soustružení.

Tab. 3.15 Parametry nožového držáku

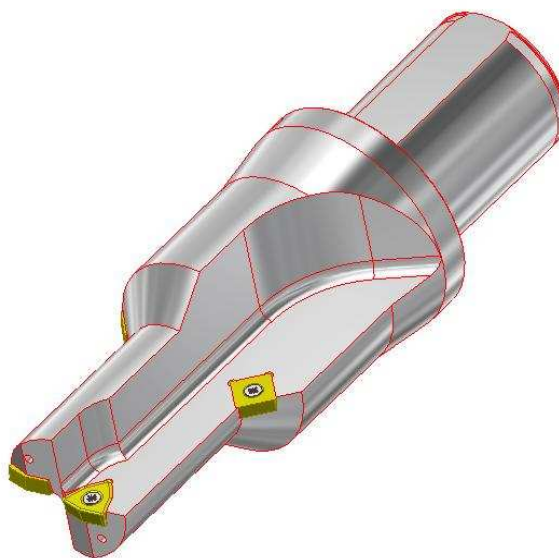
Označení ISO	Rozměry [mm]					
A25R-PCLNR	dg7	f	l_1	h	b	κ_r°
12	25	17	200	23	23	95



Obr. 3.11 Nožový držák typu PCLNR

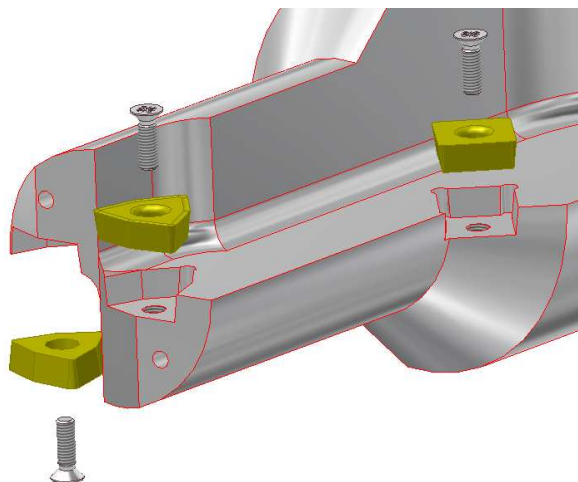
Nástroj pro vrtání

Pro zefektivnění výroby a zkrácení času obrábění vnitřního otvoru ve válečku, byla navržena nově konstrukce sdruženého vrtáku (obr. 3.12). Tímto nástrojem se ve válečku zhotoví díry $\varnothing 43$ a $\varnothing 70$ mm jednou operací. Vrtání díry $\varnothing 43$ mm monolitním HSS vrtákem a následné soustředění otvoru $\varnothing 70$ mm soustružnickým nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou, bude nahrazeno vrtáním sdruženým vrtákem. Výrobní výkres sdruženého vrtáku je v příloze č. 2 (č.v. – SD-VR-01)



Obr. 3.12 Nová konstrukce sdruženého vrtáku

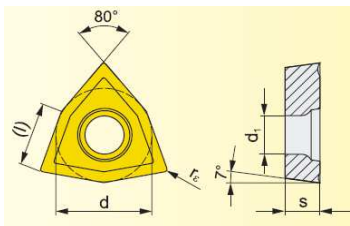
Sdružený vrták byl navržen jako vrták do plného materiálu s vyměnitelnými břitovými destičkami. Materiálem pro výrobu sdruženého vrtáku je konstrukční ocel 15 230, zušlechťená na 1200 MPa. Sdružený vrták je osazen vyměnitelnými břitovými destičkami typu WCMT (tab. 3.16) a SCET (tab. 3.17) firmy Pramet, které jsou uloženy ve vyfrézovaných lůžkách a upnuty pomocí šroubu (obr. 3.13). Ostří vrtáku je asymetricky uspořádáno vyměnitelnými břitovými destičkami tak, aby vytvářelo požadovaný průměr vrtání. Upínací stopka je navržena jako typ WELDON Ø 50 mm dle DIN 1835.



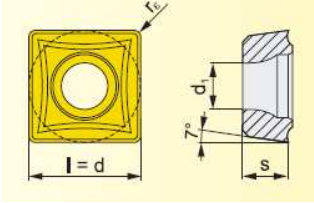
Obr. 3.13 Uložení a upnutí VBD

Mezi výhody vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami patří stálá geometrie hrotu vrtáku, neměnná délka a možnosti jednoduchého a úsporného přizpůsobení řezného materiálu právě obráběnému materiálu. Kromě toho odpadají pracovní procesy jako přebrušování a opakované povlakování břitu.

Tab. 3.16 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	WCMT 080412 E-48	l	D	s	r _e
		8,7	12,7	4,76	1,2

Tab. 3.17 Parametry VBD

Typ	Označení ISO	Rozměry [mm]			
	SCET 120408-UD	l	D	s	r_e
		12,7	12,7	4,76	0,8

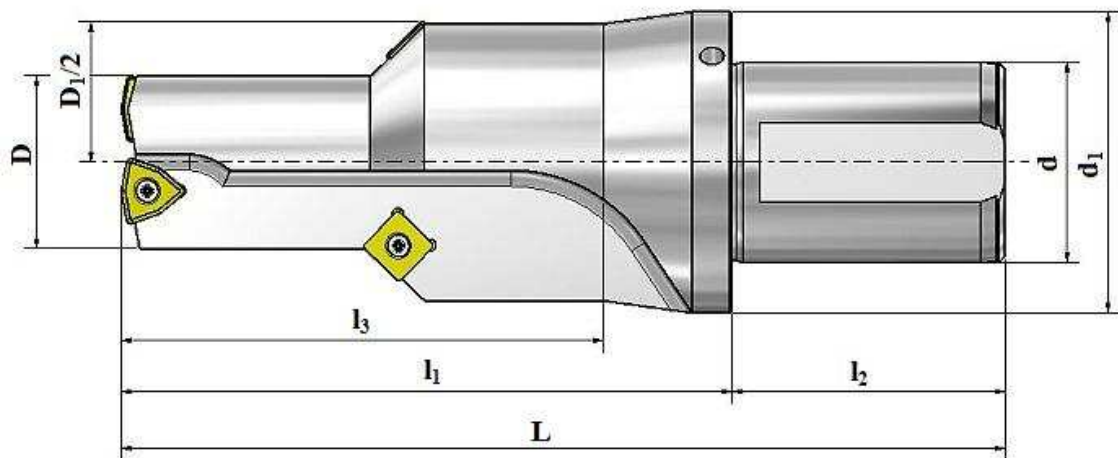
Materiál VBD WCMT a VBD SCET: 8030

- Materiál určený pro střední řezné rychlosti. Pro operace s méně stabilními záběrovými podmínkami. Používá se především pro obrábění běžných i korozivzdorných ocelí. Lze ho dále použít pro obrábění litin i superslitin. Materiál vykazuje velkou provozní spolehlivost.

V následující tabulce jsou uvedeny základní rozměrové parametry navrženého sduženého vrtáku.

Tab. 3.18 Parametry sduženého vrtáku

Rozměry [mm]							
D	$D_1/2$	L	l_1	l_2	l_3	d	d_1
43	35	220	152	68	120	50	75

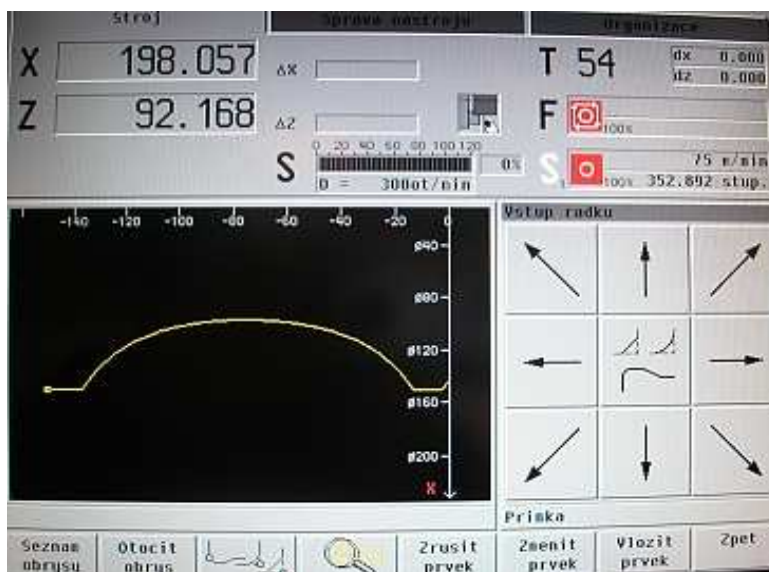


Obr. 3.14 Náčrtek sduženého vrtáku

3.3 Popis nové technologie výroby

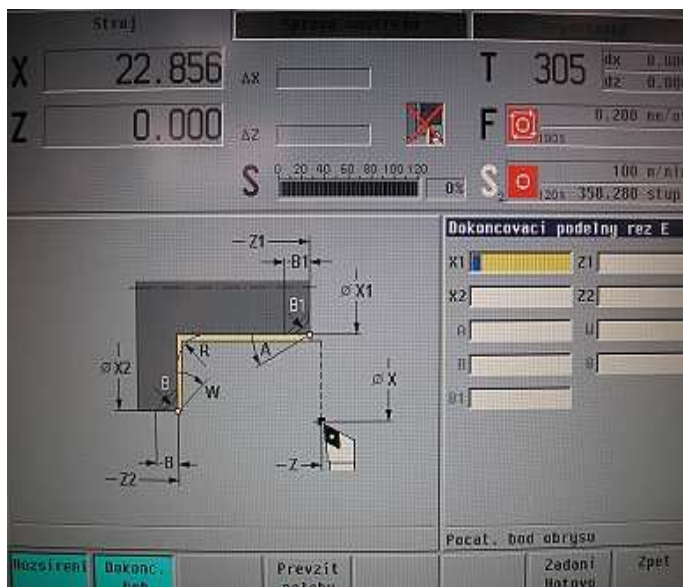
Nová technologie výroby bude spočívat v obrábění na dvou nově navržených obráběcích strojích. Na hrotovém soustruhu SUI 80 RP se předpokládá provedení operace vrtání vnitřního tvaru sdruženým vrtákem a soustružení otvoru $\varnothing 80$ H7 mm s přídavkem na dokončení po tepelném zpracování. Přepnutí obrobku zajištěné obsluhou stroje, se bude muset provést jednou a to při následném obrobení druhé strany polotovaru. Pro NC soustruh SE 520 NUMERIC bude polotovar obrobku připraven pro obrábění tak, že bude zhotoven na konečnou délkovou míru s předsoustruženými otvory $\varnothing 80$ H7 mm. Obrábění na tomto stroji bude provedeno na dvě upnutí.

Vnější tvar válečku bude zhotoven pomocí řídicího systému NC soustruhu HEIDENHAIN MANUAL plus 4110. Tento řídicí systém je určen k použití v dílnách, to znamená, že je koncipován k programování specialistou přímo na stroji. Programuje se v popisném dialogu, tak není nutné znát programovací jazyk ani G-funkce. Často se opakující pracovní operace jsou uloženy jako obráběcí cykly. Grafická podpora usnadňuje programování a nabízí důležitou pomoc při testování programu. Vnější tvar válečku bude zhotoven metodou vložení profilového obrysu do řídicího systému (obr. 3.15). Řídicí systém umožňuje přijmout soubor DXF vytvořený v CAD systému a extrahovat z něho obrysy a obráběcí pozice.[21]



Obr. 3.15 Profilový obrys válečku

Po tepelném zpracování bude součást dokončena rovněž na NC soustruhu SE 520 NUMERIC. Otvory Ø 80 H7 mm budou soustruženy na finální rozměr, soustružnickým nožem s vyměnitelnými břitovými destičkami s CBN, metodou dokončovacího cyklu řídicího systému HEIDENHAIN MANUAL plus 4110 (obr. 3.16).



Obr. 3.16 Dokončovací cyklus

Výhodou zpracování souboru DXF řídicím systémem HEIDENHAIN MANUAL plus 4110, jsou nejen ušetřené náklady na programování a testování ale i jistota, že převzatá data přesně odpovídají zadání konstruktéra.

Detailní technologický postup je zpracován v příloze č. 3

3.4 Návrh a výpočet řezných podmínek

Řezné podmínky pro nově navrženou technologii obrábění válečku navrhuji s ohledem na doporučené řezné podmínky použitých obráběcích nástrojů udávané výrobcem a vycházím také z praktických zkušeností provozu firmy. Navržené řezné podmínky jsou doporučené a budou použity na nově zvolené obráběcí stroje. Řezná rychlost je vypočítána dle vzorce (3.5)

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.5)$$

Řezné podmínky pro zarovnání čel válečku

hrubování

- počet otáček $n = 110 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,30 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 2 \text{ mm}$

Výpočet řezné rychlosti pro zarovnání čel válečku.

$$v_c = \frac{\pi \times 80 \times 110}{1000} = 27,65 \text{ [m / min]}$$

Řezné podmínky pro vrtání sdruženým vrtákem

- počet otáček $n = 700 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,14 \text{ mm}$

Výpočet řezné rychlosti pro vrtání:

$$v_c = \frac{\pi \times 43 \times 700}{1000} = 94 \text{ [m / min]}$$

Řezné podmínky pro soustružení otvoru Ø80 H7 mm

hrubování

- počet otáček $n = 130 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,30 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 1,5 \text{ mm}$

dokončování

- počet otáček $n = 160 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,15 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 0,20 \text{ mm}$

Výpočet řezné rychlosti pro hrubování otvoru Ø80 H7 mm

$$v_c = \frac{\pi \times 70 \times 130}{1000} = 28,58 \text{ [m / min]}$$

Výpočet řezné rychlosti pro dokončování otvoru Ø80 H7 mm

$$v_c = \frac{\pi \times 79 \times 160}{1000} = 39,76 \text{ [m / min]}$$

Řezné podmínky pro soustružení vnějšího tvaru válečku

hrubování

- počet otáček $n = 100 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,20 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 1,5 \text{ mm}$

dokončování

- počet otáček $n = 130 \text{ min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_n = 0,18 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 0,25 \text{ mm}$

Výpočet řezné rychlosti pro hrubování

$$v_c = \frac{\pi \times 160 \times 100}{1000} = 50,27 \text{ [m / min]}$$

Výpočet řezné rychlosti pro dokončování

$$v_c = \frac{\pi \times 151 \times 150}{1000} = 71,15 \text{ [m / min]}$$

4. Technicko - ekonomické zhodnocení

Produktivita navrhované technologie bude zhodnocena technicko – ekonomickým zhodnocením stávající a navrhované technologie výroby válečku. Zhodnocení bude provedeno na základě výrobních podkladů pro stávající technologii výroby. Hlavními ukazateli zhodnocení bude spotřeba času a náklady na výrobu součásti.

4.1 Náklady na výrobu u stávající technologie výroby

Spotřeba času jednotlivých operací stávající technologie výroby, určená metodikou firmy Srojárny Třinec, a. s. je uvedena v následující tabulce.

Tab. 4.19 Spotřeba času výroby jednoho kusu u i – té operace pro stávající technologii výroby

č. operace	10	20	30	50	60	70	80	Σ
t_{ic} [hod/ks]	0,25	2,11	0,03	0,43	1,2	0,44	0,05	4,51

Pro stanovení nákladů výroby jednoho kusu válečku u stávající technologie je nutné znát hodinové sazby jednotlivých výrobních strojů, viz. tab. 4.20

Tab. 4.20 Hodinové sazby pro jednotlivé výrobní stroje

Použitý stroj	N_{hs} [Kč/hod]
Kopírovací soustruh SU 50	459
Hrotová bruska BUB 32/1500	405
Pásová pila	315
Zámečnick	267

Náklady na výrobu jednoho kusu válečku stanovíme součtem nákladu na jednotlivé výrobní operace dle vzorců 4.6 a 4.7.

Náklady na jeden kus pro i-tou operaci

$$N_{iO} = t_{iC} \cdot N_{hs} \quad [Kč / ks] \quad (4.6)$$

N_{iO} [Kč/ks] náklady na i-tou operaci

t_{iC} [hod/ks] spotřeba času výroby jednoho kusu u i-té operace

N_{hs} [Kč/hod] hodinová sazba stroje

Příklad výpočtu nákladu na jeden kus pro operaci č. 10

$$N_{iO} = 0,25 \cdot 315$$

$$N_{iO} = 78,75 [Kč / ks]$$

Tab. 4.21 Náklady na jeden kus válečku pro i-tou operaci

č.operace	t_{iC} [hod/ks]	N_{hs} [Kč/hod]	N_{iO} [Kč/ks]
10	0,25	315	78,75
20	2,11	459	968,49
30	0,03	267	8,01
50	0,43	459	197,37
60	1,2	405	486
70	0,44	459	201,96
80	0,05	267	13,35

Náklady na výrobu jednoho kusu válečku u stávající technologie

N_{Cst} [Kč/ks] celkové náklady na výrobu pro jeden kus u stávající technologie

$$N_{Cst} = \sum N_{iO} \quad [Kč / ks] \quad (4.7)$$

$$N_{Cst} = 78,75 + 968,49 + 8,01 + 197,37 + 486 + 201,96 + 13,35$$

$$N_{Cst} = 1954 [Kč / ks]$$

Náklady na výrobu jednoho kusu u stávající technologie výroby činí 1954 Kč.

4.2 Náklady na výrobu u nové technologie výroby

Pro určení nákladů na výrobu jednoho kusu součásti je nutné opět nejdříve stanovit spotřebu času jednoho kusu pro i -tou operaci navrhované technologie výroby, kterou určíme dle vzorce 4.8

$$t_{ic} = \frac{t_{Ai} + t_u + t_p}{60} \quad [\text{hod} / \text{ks}] \quad (4.8)$$

t_u [min]	čas na výměnu kusu pro daný úsek
t_p [min]	přípravný čas
t_B [min]	čas na přípravu dávky
d_v [ks]	výrobní dávka

$$t_p = \frac{t_B}{d_v} \quad [\text{min}] \quad (4.9)$$

$$t_p = \frac{550}{50}$$

$$t_p = 11 [\text{min}]$$

Výpočet spotřeby času jednoho kusu válečku pro operaci č.20. je vypočten podle vzorce 4.8. Čas pro výměnu kusu válečku pro daný úsek t_u a přípravný čas t_p pro operaci byl zjištěn měřením. Čistý stojní čas pro i -tý úsek operace je vypočten podle vzorců 4.10 a 4.11.

- soustružení

$$t_{Ai} = \frac{L \cdot i}{f_n \cdot n} \quad [\text{min}] \quad (4.10)$$

t_{Ai} [min]	strojní čas pro i -tý úsek operace
L [mm]	celková dráha nástroje
i [-]	počet řezů
f_n [mm]	posuv na otáčku

n [min⁻¹] počet otáček

$$t_{A1} = 2 \cdot \frac{82 \cdot 3}{0,3 \cdot 110}$$

$$t_{A1} = 14,91 \text{ [min]}$$

$$t_{iC} = \frac{14,91 + 8 + 11}{60}$$

$$t_{iC} = 0,57 \text{ hod / kus} \quad [\text{hod / kus}]$$

- vrtání

$$t_{A2} = \frac{L}{f_n \cdot n} \quad [\text{min}] \quad (4.11)$$

$$t_{A2} = 2 \cdot \frac{120}{0,10 \cdot 700}$$

$$t_{A2} = 3,42 \text{ [min]}$$

$$t_{iC} = \frac{3,42 + 15 + 11}{60}$$

$$t_{iC} = 0,49 [\text{hod / kus}]$$

- soustružení

$$t_{A3} = 2 \cdot \frac{36 \cdot 3}{0,3 \cdot 120}$$

$$t_{A3} = 6 \text{ [min]}$$

$$t_{iC} = \frac{6 + 8 + 11}{60}$$

$$t_{iC} = 0,42 [\text{hod / kus}]$$

Celková spotřeba času pro jeden kus válečku u operace č.20 je stanovena dle vztahu 4.12

$$t_{20C} = \sum t_{iC} \quad [\text{hod / ks}] \quad (4.12)$$

$$t_{20C} = 0,57 + 0,49 + 0,42$$

$$t_{20C} = 1,48 \text{ [kod / kus]}$$

Výpočet spotřeby času na výrobu jednoho kusu válečku pro operaci č. 30. a č. 50 je rovněž proveden dle vzorce 4.8. Tyto operace jsou realizovány na NC soustruhu SE 520 NUMERIC a je zde zhotoven vnější tvar válečku a dokončení přesného otvorů Ø 80 H7 mm. Strojní časy těchto operací byly zjištěny spuštěním simulace na NC soustruhu. Časy pro výměnu kusu pro daný úsek t_u a přípravný čas t_p pro operaci byly zjištěny měřením. V následující tabulce jsou uvedeny naměřené a vypočtené spotřeby času.

Tab. 4.22 Naměřené a vypočtené hodnoty spotřeby času pro obrábění na NC soustruhu

SE 520 NUMERIC	operace č. 30		operace č. 50
	hrubování	dokončení	
t_p [min]	11	11	11
t_u [min]	8	6	17
t_A [min]	24	10	32
t_{iC} [hod/kus]	0,72	0,45	1

Celková spotřeba času pro jeden kus u operace č.30 je stanovena dle vztahu 4.13

$$t_{20C} = \sum t_{iC} \quad [\text{hod} / \text{ks}] \quad (4.13)$$

$$t_{30C} = 0,72 + 0,45$$

$$t_{30C} = 1,17 \quad [\text{hod} / \text{kus}]$$

Tab. 4.23 Spotřeba času výroby jednoho kusu u i – té operace pro navrhovanou technologii výroby

č. operace	10	20	30	50	60	Σ
t_{iC} [hod/ks]	0,25	1,48	1,17	1	0,05	3,95

Náklady na jeden kus pro i-tou operaci u navrhované technologie jsou vypočteny dle vzorce 4.6 a jsou uvedeny v tab. 4.25. Hodinové sazby pro nově navržené výrobní stroje jsou uvedeny v tab. 4.24

Tab. 4.24 Hodinové sazby pro jednotlivé stroje nové technologie výroby

Použitý stroj	N_{hs} [Kč/hod]
Hrotový soustruh SUI 80 RP	405
NC sostruh SE 520 NUMERIC	405
Pásová pila	315
Zámečnick	267

Tab. 4.25 Náklady na jeden kus pro i-tou operaci navrhované technologie

č.operace	t_{ic} [hod/ks]	N_{hs} [Kč/hod]	N_{io} [Kč/ks]
10	0,25	315	78,75
20	1,48	405	599
30	1,17	405	473,90
50	1	405	405
60	0,05	267	13,35

Náklady na výrobu jednoho kusu pro navrhovanou technologii jsou vypočteny dle vzorce 4.7.

N_{Cnt} [Kč/ks] celkové náklady na výrobu pro jeden kus u navrhované technologie

$$N_{Cnt} = \sum N_{io} \quad [Kč / ks] \quad (4.14)$$

$$N_{Cnt} = 78,75 + 599 + 473,90 + 405 + 13,35 + 13,35$$

$$N_{Cnt} = 1569 [Kč / ks]$$

Náklady na výrobu jednoho kusu válečku pro navrhovanou technologii výroby činí 1569 Kč.

Úsporu spotřeby času na výrobu pro jeden kus válečku U_{t_c} vypočteme dle vzorce 4.15

$$U_{t_c} = t_{Cst} - t_{Cnt} \quad [\text{hod} / \text{ks}] \quad (4.15)$$

t_{Cst} [hod/ks] celková spotřeba času na výrobu pro jeden kus u stávající technologie

t_{Cnt} [hod/ks] celková spotřeba času na výrobu pro jeden kus u navrhované technologie

$$U_{t_c} = 4,51 - 3,95$$

$$U_{t_c} = 0,56 \text{ [hod / ks]}$$

Úsporu nákladů pro výrobu jednoho kusu válečku U_N vypočteme dle vzorce 4.16

$$U_N = N_{Cst} - N_{Cnt} \quad [\text{Kč} / \text{ks}] \quad (4.16)$$

$$U_N = 1954 - 1569$$

$$U_N = 385 \text{ [Kč / ks]}$$

Úspora nákladů pro výrobu jednoho kusu válečku je $U_N = 385 \text{ Kč/ks}$.

Úsporu nákladů pro roční výrobní dávku 1000 kusů U_{NR} vypočteme dle vzorce 4.17

$$U_{NR} = U_N \cdot Dv \quad [\text{Kč}] \quad (4.17)$$

Dv [ks] roční výrobní dávka

$$U_{NR} = 385 \cdot 1000$$

$$U_{NR} = 385\,000 \text{ Kč}$$

Úspora nákladů na výrobu pro roční výrobní dávku je $U_{NR} = 385\,000 \text{ Kč/ks}$.

4.3 Závěry vyplývající z technicko – ekonomického zhodnocení

Navrhované změny v technologickém postupu měly vliv na snížení spotřeby času výroby součásti, což vedlo k poklesu nákladů na výrobu jednoho kusu válečku. Jedná z příčin úspory spotřeby času bylo snížení výrobních operací z osmi na šest. Dalším z činitelů podílejících se na úsporách času bylo zvolení a navržení sdruženého vrtáku. Volba tohoto nástroje sloučila výrobní úseky operace č. 20 stávající technologie a to vrtání Ø 43 mm a soustružení Ø 70 mm do jednoho výrobního úseku. V další řadě se na zkrácení spotřeby času podílelo nahrazení dokončovacího broušení soustružením s nožem s VBD s KNB. Při těchto změnách v technologickém postupu výroby se zkrátí čas o 0,56 hod/ks. To znamená, že oproti stávající technologii, kdy spotřeba času výroby byla 4,51 hod/ks, je nyní u navrhované technologie výroby válečku dosaženo spotřeby času 3,95 hod/ks.

Úspora spotřeby času byla jednou z příčin snížení nákladů na výrobu. Větší vliv na snížení nákladů měla volba výrobních strojů a to hrotového soustruhu SUI 80 RP a NC soustruhu SE 520 NUMERIC, které měly v porovnání s kopírovacím soustruhem SU 50 nižší hodinovou sazbu. Náklady na výrobu jednoho kusu válečku se snížily z 1 954 na 1 569 Kč/ks. To znamená, že úspora v nákladech při roční výrobní dávce 1 000 ks by měla dosáhnout hodnoty 385 000 Kč.

5. Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem nového technologického postupu výroby kalené součásti v podmínkách společnosti Strojírny Třinec a. s. Mezi hlavní cíle diplomové práce patří zefektivnění výroby, zkrácení spotřeby času a snížení nákladů na výrobu kalené součásti.

Těmto cílům předcházelo rozpracování problematiky obrábění těžkoobrobitelných materiálů, které je uvedeno v první části diplomové práce. Tato problematika nám přibližuje posuzování obrobitelnosti těžkoobrobitelných materiálů a popisuje vliv různých faktorů na obrobitelnost se zaměřením na obrábění kalených ocelí.

V další části diplomové práce je zpracován rozbor stávající technologie výroby. Cílem této analýzy je objasnění strojního opracování na obrobně Mechanických dílen v podniku Strojírny Třinec, a. s. Součástí rozboru je jak popis materiálu a popis funkce vyráběné součásti, tak technologický postup výroby, používané výrobní stroje a nástroje a řezné podmínky při kterých je obrábění součásti realizováno.

Rozborem stávající technologie výroby a na základě plánovaných změn týkajících se tepelného zpracování vyráběné součásti jsou v třetí kapitole diplomové práce navrženy inovace pro současnou technologii výroby. Navrhované změny se týkají jak volby nových výrobních strojů a nástrojů, tak návrhu změn v technologickém postupu výroby. Konkrétně se jedná o obrábění součásti před tepelným zpracováním, kdy se celá součást, na rozdíl od stávající technologie, bude obrábět způsobem na hotovo s výjimkou přesných otvorů $\varnothing 80\ H7\ \text{mm}$. Další změna se týká nahrazení dokončovacího broušení přesných otvorů tvrdým soustružením. Inovace stávající technologie výroby se týká i volby nástrojů. V rámci zkrácení strojního času a zefektivnění výroby otvoru $\varnothing 43/70\ \text{mm}$ byl nově navrhnut sdružený vrták a byla také realizována jeho konstrukce. Tímto nástrojem bylo docíleno sjednocení dvou úseků operace do jednoho. V poslední řadě byly pro navrhovanou technologii výroby stanoveny a vypočteny řezné podmínky.

Závěrečná část diplomové práce je věnována technicko–ekonomickému zhodnocení stávající a nově navržené technologie výroby, z kterého vyplývá, že nová technologie výroby bude z ekonomického hlediska úspornější. Na tuto skutečnost má největší vliv snížení spotřeby času výroby součástí a volba výrobních strojů, které měly nižší hodinovou sazbu než výrobní stroje stávající technologie výroby.

Navrhovaná technologie výroby kalené součásti splňuje veškeré požadavky jak z technologického, tak ekonomického hlediska. Novou technologii výroby je proto možné začlenit do výrobního procesu společnosti Strojírny Třinec, a.s.

Závěrem děkuji vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Mgr. Janě Novákové a konzultantovi Ing. Zdeňku Mruzkovi za podnětné rady a připomínky a za odborné vedení, které mi bylo jimi poskytnuto při vypracování této diplomové práce.

Literatura

- [1] MIKOVEC Miroslav. *Obrábění materiálů s velkou pevností a tvrdostí*. I.vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1982. 200 s.
- [2] BILÍK Oldřich. *Obrábění II, 1. díl*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava. 1999, II. vydání. ISBN 80-7078-962-X
- [3] BRYCHTA Josef, ČEP Robert, NOVÁKOVÁ Jana, PETŘKOVSKÁ Lenka. *Technologie II. 1.díl*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava. 2007, 1. vydání. ISBN 978-80-248-1641-8
- [4] GARANT. Příručka obrábění
- [5] BRYCHTA Josef, ČEP Robert, SADÍLEK Marek, PETŘKOVSKÁ Lenka, NOVÁKOVÁ Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. sylabus. [online]. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava, 2007. 256. s. Dostupné z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/>>
- [6] MIKOVEC Miroslav. *Obrábění těžkoobrobitelných materiálů*. I. vydání. Praha: SNTL/SVTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1963. 168.s
- [7] KOČMAN Karel, PROKOP Jaroslav. *Technologie II – řešené příklady*. sylabus. [online]. Brno: VUT – Brno, 2002. 64. s. Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/Technvyroby_II.pdf>
- [8] *Nástrojová, vysokolegovaná, chromová ocel*. Materiálový list. [online]. Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/Technvyroby_II.pdf>
- [9] *Obrábění kalených ocelí*. Článek. [online]. Citováno 1.3. 2010. Dostupné z WWW: <http://mmspektrum.com/clanek/obrabeni_kalenyh_oceli>
- [10] *Obrábění kalených materiálů řeznou keramikou*. Článek. [online]. Citováno 1.3. 2010. Dostupné z WWW: <http://mmspektrum.com/clanek/obrabeni_kalenyh_materialu_řeznou_kerami ku>
- [11] NESLUŠAN Miroslav. *Sústruženie kalených ocelí*. Vybrané aspekty a perspektivy. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2008. 46. s.
- [12] MRKVICA Ivan,. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů*. II. vydání. Ostrava: VŠB-TU-OSTRAVA, 2066. 148 s. ISBN 80-248-1053-0

- [13] MRKVICA Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje*. III. vydání. Ostrava: VŠB-TU-OSTRAVA, 2006. 192 S. ISBN 80-7078-941-7
- [14] *Řezná keramika a kubický nitrid boru*. Článek. [online]. Citováno 14.3. 2010. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubicky-nitrid-boru>
- [15] *Profil společnosti Třinecké železářny*. Prospekt [online]. Dostupné z WWW: <[http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/\(viewPublic\)/KATALOG/\\$FILE/Profil2008.pdf](http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/(viewPublic)/KATALOG/$FILE/Profil2008.pdf)>
- [16] *Vrtání 2008 – PRAMET*. Katalog. [online]. Dostupné z WWW: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Vrtaky%20CZEN%202008%20screen.pdf>
- [17] *Soustružení 2010 – PRAMET*. Katalog. [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202010%20CZ%20prog.pdf>>
- [18] *Všeobecné soustružení 2009 – SANDVIK COROMANT*. Katalog [online]. Dostupné z WWW:<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZEMC_2009_Klick_CZE_A.pdf>
- [19] *Vakuové kalení*. Článek. [online]. Citováno 10.4.2010. Dostupné z WWW: <<http://www.kalirna-vyskov.cz/vakuove-kaleni/>>
- [20] *SE 520 numeric*. Článek. [online]. Citováno 15.4.2010. Dostupné z WWW: <http://www.trens.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=78&lang=sk>
- [21] *HEIDENHAIN*. Prospekt. [online]. Dostupné z WWW: http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/350_457-C1.pdf

Seznam příloh

Příloha č.1 – Výrobní výkres č. VC2 – 315 – 09

Příloha č.2 – Výrobní výkres č. SD – VR – 01

Příloha č.3 – Technologický postup

Příloha č.4 – Fotografie navrženého sdruženého vrtáku